



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. de Ingeniería Mecánica

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA
PROYECTO FIN DE CARRERA

***ESTUDIO Y DISEÑO DEL BASTIDOR
DELANTERO DEL PROTOTIPO
DESTINADO A PARTICIPAR EN LA
COMPETICIÓN SHELL ECO-
MARATHON***

D. PABLO BLANCO ESTEBAN
SEPTIEMBRE 2010

Director: Dr. D. Vicente Díaz López
Tutora: Dra. D^a. Beatriz López Boada

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer, aunque siento que nunca lo haré lo suficiente, todo el apoyo y ayuda que me han dado mis padres, ya que gracias a ellos he podido llegar hasta aquí.

Quiero dar las gracias a Pepe, mi mejor amigo, por todo su apoyo y por todos los buenos momentos que hemos pasado juntos, ya que gracias a ellos ha sido más fácil superar las épocas difíciles.

También quiero agradecer al resto de mis amigos y a mis compañeros el haber hecho esta etapa mucho más agradable y digna de recordar.

A María, quiero agradecerle todo su apoyo, y sobretodo quiero darle las gracias por aguantarme en los momentos difíciles.

Finalmente quiero dar las gracias a Beatriz, tutora del proyecto, tanto por sus indicaciones a lo largo del proyecto como por su rapidez, ya que, dadas las circunstancias, ha sido algo esencial para conseguir iniciar la siguiente etapa de mis estudios.

A todos, GRACIAS.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Introducción	1
1.2.- Objetivo del proyecto.....	2
1.3.- Estructura de la memoria	2
 2. SHELL ECO-MARATHON.....	4
2.1.- Historia de la competición.....	4
2.2.- Normativa de la competición	5
2.3.- Tipos de vehículos participantes.....	6
2.3.1.- Según la forma	6
2.3.1.1.- Tipo A: Prototipos	6
2.4.1.2.- Tipo B: UrbanConcept Cars.....	7
2.3.2.- Según la fuente de energía	8
2.3.2.1.- Gasolina sin plomo 95	9
2.4.2.2.- Diesel	9
2.3.2.3.- Gas de petróleo licuado.....	9
2.4.2.4.- Gas to liquid (GtL 100%)	9
2.3.2.5.- Fatty Acid Methyl Ester (FAME 100%).....	10

2.4.2.6.- Etanol E100 (100% Etanol)	10
2.4.2.7.- Pila de hidrógeno	10
2.4.2.8.- Energía solar	10
2.4.- Vehículo a diseñar.....	11
2.5.- El circuito	11
3. ESTRUCTURAS EN VEHÍCULOS.....	13
3.1.- Introducción	13
3.2.- Sistemas que forman el automóvil.....	13
3.3.- Tipos de estructuras en los automóviles.....	15
3.3.1.- Bastidor de largueros.....	15
3.3.2.- Bastidor tubular.....	16
3.3.3.- Bastidor de tubo central	17
3.3.4.- Carrocería autoportante	18
4. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL BASTIDOR.....	19
4.1.- Introducción	19
4.2.- Parámetros prefijados	20
4.2.1.- Batalla	20
4.2.2.- Altura de la parte inferior del chasis	21
4.2.3.- Dimensiones de la parte trasera.....	23
4.2.4.- Disposición de las ruedas	25
4.2.5.- Tamaño de las ruedas	26
4.3.- La normativa en el diseño del bastidor	26
4.3.1.- Artículos de la normativa que afectan al diseño.....	27
4.3.1.1.- Artículo 21: Peso del piloto	27
4.3.1.2.- Artículo 22: Casco	27
4.3.1.3.- Artículo 23: Ropa del conductor	28
4.3.1.4.- Artículo 25: Diseño del vehículo	28
4.3.1.5.- Artículo 26: Dimensiones	29

4.3.1.6.- Artículo 27: Rigidez del chasis/monocasco	30
4.3.1.7.- Artículo 28: Visibilidad	31
4.3.1.8.- Artículo 29: Cinturón de seguridad.....	31
4.3.1.9.- Artículo 30: Acceso al vehículo.....	32
4.3.1.10.- Artículo 31: Posición de conducción	33
4.3.1.11.- Artículo 33: Aislamiento del motor y del sistema de combustible	33
4.3.1.12.- Artículo 35: Peso del piloto	34
4.3.1.13.- Artículo 37: Ruedas, ejes y bujes.....	34
4.3.1.14.- Artículo 40: Frenos	34
4.3.1.15.- Artículo 127: Resultados.....	34
4.4.- Estudio biomecánico de la postura del piloto	37
4.4.1.- Elementos que afectan a la postura del piloto	37
4.4.1.1.- Eje delantero	37
4.4.1.2.- Volante.....	41
4.4.1.3.- Campo de visión	42
4.4.1.4.- Dimensiones	43
4.4.2.- Postura final de conducción	44
4.4.2.1.- Determinación de la postura de conducción	44
4.4.3.- Dimensiones del piloto.....	47
4.4.4.- Distribución de masas del piloto	50
4.4.5.- Distribución de cargas sobre el bastidor.....	56
4.4.5.1.- Distribución de cargas de las piernas del piloto sobre el bastidor.....	57
4.4.5.2.- Distribución de cargas del resto del cuerpo del piloto sobre el bastidor	61
4.5.- Dinámica del prototipo	66
4.5.1.- Dinámica longitudinal	66
4.5.1.1.- Aceleración	67
4.5.1.2.- Deceleración	68
4.5.2.- Dinámica lateral	73
4.6.- Otras masas y fuerzas	77
4.6.1.- Sistema de propulsión	77

4.6.2.- Sistema de transmisión.....	78
4.6.3.- Sistema de dirección	79
4.6.4.- Estructura trasera.....	79
4.6.5.- Estructura delantera.....	80
4.6.6.- Equipamiento del piloto	80
4.6.7.- Extintor de incendios.....	80
4.6.8.- Suelo del habitáculo y asiento	81
4.6.9.- Carrocería.....	81
4.6.10.- Ruedas y ejes.....	81
4.6.11.- Fuerzas aerodinámicas	82
4.6.12.- Frenos.....	82
4.6.13.- Baches e irregularidades en la pista	82
4.7.- Materiales	83
 5. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL BASTIDOR.....	 85
5.1.- Creación del modelo de prueba en Ansys	86
5.1.1.- Prueba 1: Marcha	86
5.1.2.- Prueba 2: Barra antivuelco vertical	91
5.1.3.- Prueba 3: Barra antivuelco horizontal	83
5.2.- Diseño y análisis de los bastidores	94
5.2.1.- Bastidor 1.0	95
5.2.1.1.- Bastidor 1.0 en la prueba <i>Marcha</i>	96
5.2.1.2.- Bastidor 1.0 en la prueba <i>Barra antivuelco vertical</i>	98
5.2.1.3.- Bastidor 1.0 en la prueba <i>Barra antivuelco horizontal</i>	99
5.2.2.- Bastidor 1.1	100
5.2.2.1.- Bastidor 1.1 en la prueba <i>Marcha</i>	102
5.2.2.2.- Bastidor 1.1 en la prueba <i>Barra antivuelco vertical</i>	103
5.2.2.3.- Bastidor 1.1 en la prueba <i>Barra antivuelco horizontal</i>	104
5.2.3.- Bastidor 1.2	104
5.2.3.1.- Bastidor 1.2 en la prueba <i>Marcha</i>	105

5.2.3.2.- Bastidor 1.2 en las pruebas de la barra antivuelco	105
5.2.4.- Bastidor 1.3	106
5.2.4.1.- Bastidor 1.3 en la prueba <i>Marcha</i>	106
5.2.4.2.- Bastidor 1.3 en las pruebas de la barra antivuelco	107
5.2.5.- Bastidor 1.4	107
5.2.5.1.- Bastidor 1.4 en la prueba <i>Marcha</i>	109
5.2.5.2.- Bastidor 1.4 en las pruebas de la barra antivuelco	109
5.2.6.- Bastidor 1.5	110
5.2.6.1.- Bastidor 1.5 en la prueba <i>Marcha</i>	110
5.2.6.2.- Bastidor 1.5 en las pruebas de la barra antivuelco	111
5.2.7.- Bastidor 1.6	111
5.2.7.1.- Bastidor 1.6 en la prueba <i>Marcha</i>	112
5.2.7.2.- Bastidor 1.6 en las pruebas de la barra antivuelco	113
5.2.7.3.- Resultados finales del bastidor 1.6	113
5.2.8.- Bastidor 2.0	113
5.2.8.1.- Bastidor 2.0 en la prueba <i>Marcha</i>	114
5.2.8.2.- Bastidor 2.0 en la prueba <i>Barra antivuelco vertical</i>	115
5.2.8.3.- Bastidor 2.0 en la prueba <i>Barra antivuelco horizontal</i>	115
5.2.9.- Bastidor 2.1	116
5.2.9.1.- Bastidor 2.1 en la prueba <i>Marcha</i>	116
5.2.9.2.- Bastidor 2.1 en las pruebas de la barra antivuelco	117
5.2.9.3.- Resultados finales del bastidor 2.1	118
5.2.10.- Bastidor 3.0	119
5.2.10.1.- Bastidor 3.0 en la prueba <i>Marcha</i>	119
5.2.10.2.- Bastidor 3.0 en la prueba <i>Barra antivuelco vertical</i>	120
5.2.10.3.- Bastidor 3.0 en la prueba <i>Barra antivuelco horizontal</i>	121
5.2.11.- Bastidor 3.1	121
5.2.11.1.- Bastidor 3.1 en la prueba <i>Marcha</i>	121
5.2.11.2.- Bastidor 3.1 en las pruebas de la barra antivuelco	122
5.2.11.3.- Resultados finales del bastidor 3.1	123

5.3.- Elección del modelo de bastidor	124
5.4.- Comprobaciones finales	125
5.5.- Construcción del bastidor	129
5.5.1.- Identificación de los elementos que forman el bastidor	130
5.5.2.- Ejecución.....	132
5.6.- Instalación de elementos sobre el bastidor	133
5.6.1.- Anclajes.....	133
5.6.2.- Sistema de frenado	133
5.6.3.- Cinturón de seguridad	134
 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	 136
6.1.- Conclusiones.....	136
6.2.- Trabajos futuros	137
 7. REFERENCIAS	 139
 8. ANEXO I.....	 142

Índice de figuras

Figura 2.1 Ejemplo de “Prototipos”	7
Figura 2.2 Ejemplo de “UrbanConcept Car”	8
Figura 2.3 Vista aérea del circuito.	11
Figura 2.4 Panorámica del EuroSpeedway Lausitz.....	12
Figura 2.5 Plano del EuroSpeedway Lausitz	12
Figura 3.1 Bastidor de largueros	15
Figura 3.2 Bastidor tubular.....	16
Figura 3.3 Bastidor de tubo central	17
Figura 3.4 Carrocería autoportante.....	18
Figura 4.1 Batalla del vehículo	21
Figura4.2 Altura inferior del chasis.....	22
Figura4.3 Forma de media gota.....	22
Figura 4.4 Forma de gota	23
Figura 4.5 Dimensiones de la parte trasera	24
Figura 4.6 Disposición de las ruedas.....	25
Figura 4.7 Posición del eje delantero	38
Figura 4.8 Altura viga-eje 1	39

Figura 4.9 Altura viga-eje 2	39
Figura 4.10 Volante del prototipo	41
Figura 4.11 Visión del piloto.....	42
Figura 4.12 Modelo en la posición de conducción.....	45
Figura 4.13 Modelo 3D del piloto.....	46
Figura 4.14 Planos del piloto.....	47
Figura 4.15 Dimensiones posición del piloto 1	48
Figura 4.16 Dimensiones posición del piloto 2.....	49
Figura 4.17 Dimensiones principales del bastidor	50
Figura 4.18 Longitudes de los segmentos del cuerpo humano.....	51
Figura 4.19 Posicionamiento CDM segmentos.....	53
Figura 4.20 Posiciones CDM segmentos	54
Figura 4.21 CDM piloto.....	55
Figura 4.22 División del cuerpo del piloto.....	56
Figura 4.23 Diagrama de fuerzas en las piernas.....	58
Figura 4.24 Apoyos A y B	61
Figura 4.25 Apoyo C.....	63
Figura 4.26 Posición de los centros de los apoyos C1, C2 y C3	65
Figura 4.27 Apoyos C1, C2 y C3	66
Figura 4.28 Diagrama de fuerzas en aceleración	67
Figura 4.29 Situación de la prueba de frenado.....	69
Figura 4.30 Diagrama de fuerzas en deceleración	71
Figura 4.31 Efecto de la transferencia de carga	72
Figura 4.32 Diagrama de fuerzas en curva.....	74
Figura 4.33 Transformación de las reacciones en curva	75
Figura 4.34 Posición del sistema de propulsión.....	78
Figura 5.1 Posición del CDM del piloto y del CDM del sistema de propulsión.....	90
Figura 5.2 Diagrama de fuerzas en la barra antivuelco	92

Figura 5.3 Bastidor 1.0.....	95
Figura 5.4 Prueba Marcha	96
Figura 5.5 Bastidor 1.0 en la prueba Marcha	97
Figura 5.6 Prueba Barra antivuelco vertical.....	98
Figura 5.7 Bastidor 1.0 en la prueba Marcha	99
Figura 5.8 Prueba Barra antivuelco vertical.....	99
Figura 5.9 Bastidor 1.0 en la prueba Barra antivuelco vertical.....	100
Figura 5.10 Desplazamientos del Bastidor 1.0 en la prueba Marcha	101
Figura 5.11 Bastidor 1.1	103
Figura 5.12 Bastidor 1.1 en la prueba Marcha	102
Figura 5.13 Bastidor 1.1 en la prueba Barra antivuelco vertical	103
Figura 5.14 Bastidor 1.2.....	104
Figura 5.15 Bastidor 1.2 en la prueba Marcha	105
Figura 5.16 Bastidor 1.3.....	106
Figura 5.17 Bastidor 1.3 en la prueba Marcha	107
Figura 5.18 Deformación en el bastidor 1.3 en la prueba Marcha	108
Figura 5.19 Bastidor 1.4.....	108
Figura 5.20 Bastidor 1.4 en la prueba Marcha	109
Figura 5.21 Bastidor 1.5.....	110
Figura 5.22 Bastidor 1.5 en la prueba Marcha	111
Figura 5.23 Bastidor 1.6.....	112
Figura 5.24 Bastidor 1.6 en la prueba Marcha	112
Figura 5.25 Bastidor 2.0.....	114
Figura 5.26 Bastidor 2.0 en la prueba Marcha	114
Figura 5.27 Bastidor 2.0 en la prueba Barra antivuelco vertical.....	115
Figura 5.28 Bastidor 2.1	116
Figura 5.29 Bastidor 2.1 en la prueba Marcha	116
Figura 5.30 Bastidor 2.1 en la prueba Barra antivuelco vertical.....	117

Figura 5.31 Bastidor 2.1 en la prueba Barra antivuelco vertical.....	118
Figura 5.32 Bastidor 3.0.....	119
Figura 5.33 Bastidor 3.0 en la prueba Marcha	120
Figura 5.34 Bastidor 3.0 en la prueba Barra antivuelco vertical	120
Figura 5.35 Bastidor 3.1	121
Figura 5.36 Bastidor 3.1 en la prueba Marcha	122
Figura 5.37 Bastidor 3.1 en la prueba Barra antivuelco vertical.....	122
Figura 5.38 Bastidor 3.1 en la prueba Barra antivuelco horizontal.....	123
Figura 5.39 De izquierda a derecha bastidor 1.6, bastidor 2.1 y bastidor 3.1	124
Figura 5.40 Posición del CDM del bastidor 2.1	126
Figura 5.41 Bastidor 2.1 en prueba Marcha final.....	127
Figura 5.42 Prueba Choque.....	128
Figura 5.43 Bastidor 2.1 en prueba Choque.....	129
Figura 5.44 Bastidor 2.1 montado.....	131
Figura 5.45 Estructura completa del prototipo-Estructura con modelo	132
Figura 5.46 Puntos para la colocación del sistema de frenado.....	134
Figura 5.47 Puntos para la colocación de los cinturones de seguridad	135

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción

El presente proyecto se ha realizado en base a la participación de un grupo de estudiantes de la Universidad Carlos III de Madrid en la competición Shell Eco-Marathon, que tendrá lugar en el circuito de EuroSpeedway Lausitz, Alemania, en su vigésimo sexta edición.

Shell Eco-Marathon [1] es una concentración que se celebra anualmente en América, Europa y Asia, donde se reta a los equipos participantes a diseñar, construir y conducir el vehículo más eficiente. El ganador es aquel que consigue recorrer una distancia estipulada previamente por la organización empleando la menor cantidad de energía, es decir, el vehículo con la mayor eficiencia energética.

Este tipo de competiciones supone, para miles de jóvenes estudiantes, la oportunidad de aplicar las destrezas y los conocimientos adquiridos durante sus estudios, a la par que fomenta el interés por el campo de la automoción, sector que en España genera entre un 6 y un 10% del PIB [2].

1.2.- Objetivo del proyecto

El presente proyecto se centra en el diseño de la estructura delantera, o bastidor delantero, del prototipo de la Universidad Carlos III de Madrid destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon, el cual debe ser lo más ligero posible dadas las características de la competición.

Además se tendrá en cuenta la viabilidad de fabricación del modelo, ya que el fin último es fabricarlo de acuerdo a lo descrito en el proyecto para poder emplearlo en la próxima edición de la competición.

1.3.- Estructura de la memoria

Con el fin de facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de los diferentes capítulos que la componen.

El capítulo número uno de la memoria, contiene una introducción sobre el tema del proyecto, con el fin de explicar brevemente la razón de la elaboración del mismo. También se incluye la descripción del objetivo del proyecto, así como una síntesis del contenido completo de la memoria.

El segundo capítulo, trata sobre la competición donde está destinado a participar el vehículo, cuyo bastidor delantero es el objeto de diseño del proyecto, la Shell Eco-Marathon. Contiene un resumen la historia de la competición, comentarios sobre su normativa y la descripción de los tipos de vehículos participantes así como del circuito que alberga la próxima edición de la competición.

En el tercero de los capítulos de la memoria, se describen los elementos básicos que forman los vehículos automóviles convencionales y más detalladamente los tipos de estructuras que portan.

En el cuarto capítulo, se especifican todos y cada uno de los parámetros que son necesarios para el diseño del bastidor a realizar, tratando factores como la normativa de la competición, las masas que ha de soportar el bastidor o los materiales más apropiados para su construcción.

En el capítulo número cinco, se detalla el proceso seguido en el diseño del bastidor, atendiendo tanto a la parte propia de diseño de la estructura, como a las pruebas que se efectúan sobre el modelo diseñado por ordenador para comprobar su validez. Además, se incluyen indicaciones sobre la construcción del bastidor y sobre la instalación de elementos sobre el mismo.

En el sexto y último capítulo de la memoria, se exponen las conclusiones finales extraídas tras la realización del proyecto, así como una enumeración de recomendaciones para trabajos futuros sobre el mismo tema.

Capítulo II

SHELL ECO-MARATHON

2.1.- Historia de la competición

Shell Eco-Marathon [1] es una competición para estudiantes que se celebra anualmente en América, Europa y Asia en la que se reta a los equipos participantes a diseñar, construir y conducir el vehículo más eficiente. El ganador de cada categoría es aquel que consigue recorrer una distancia estipulada con la menor cantidad de energía.

La historia de esta competición se remonta a 1939. Surge como una apuesta amistosa entre científicos del laboratorio de investigación de la petrolera Shell en Estados Unidos, que buscaban probar su destreza recorriendo el mayor número de millas por galón, con sus vehículos. A partir de estos orígenes, el concurso se organiza ligado a la evolución de la economía del combustible, trasladándose incluso a Europa.

Fue en 1985, en Francia, donde la Shell Eco-Marathon desarrolló su actual formato, generando la expectación de miles de jóvenes ingenieros y científicos de veinte países europeos que deseaban poner a prueba sus conocimientos tecnológicos. La marca obtenida fue de 680 kilómetros con un litro de gasolina.

A lo largo de los años, el consumo de combustible se ha reducido considerablemente. El actual récord en vehículos de combustión interna se registró en 2005, por el equipo francés Lycee La Joliverie, consiguiendo realizar 3410 kilómetros con un litro de combustible. Para los vehículos con pilas de combustible, el registro es aun más impresionante. En la edición del 2010, el vehículo impulsado por hidrógeno del equipo francés Polytech'Nantes, alcanzó una proyección de 4896 kilómetros con el equivalente a un litro de combustible.

Actualmente se celebra su vigésimo sexta edición, donde participarán 213 equipos conformados por miles de alumnos y estudiantes procedentes de centenares de colegios, institutos y universidades de gran prestigio de toda Europa. Este año la competición se desarrolla en la ciudad alemana de Lausitz y tendrá como representantes españoles a 18 equipos provenientes de Álava, Alicante, Asturias, Castellón, Guipuzcoa, Jaén, Murcia, Valencia y Vizcaya.

Shell ha introducido en esta edición una prueba de demostración de E-movilidad, en la que participaran 17 de los 213 equipos a fin de probar la posibilidad de incluir vehículos completamente eléctricos como categoría diferenciada en futuras ediciones de la Shell Eco-Marathon. Estos equipos estarán equipados con un *julímetro* para medir su consumo eléctrico [3].

2.2 Normativa de la competición

La normativa establecida por los creadores de la Eco-Marathon Shell es un factor determinante a la hora de diseñar el vehículo, y por tanto es necesario conocer su contenido para poder realizar este proyecto.

La normativa cambia año tras año por tanto es preciso informarse sobre las reglas de la edición del 2011. La Web de la competición explica detenidamente cuáles son las reglas a seguir y los parámetros sobre los que hay que centrarse [4].

La organización, como novedad, ha decidido que podrán participar vehículos impulsados por baterías en todas sus categorías. Esta opción, comúnmente llamada *Plug-In*, complementará las categorías eléctricas ya existentes, como la Solar y la H2 Fuel Cell.

2.3 Tipos de vehículos participantes

En la competición, los vehículos se clasifican en dos tipos. El Tipo A engloba a los “Prototipos”, mientras que el Tipo B, está compuesto por los “UrbanConcept Cars”. Dentro de cada tipo hay diferentes categorías en función de su fuente de energía.

2.3.1 Según la forma

La primera clasificación que se hace de los vehículos participantes, tiene en cuenta una serie de dimensiones máximas y mínimas para cada uno de los tipos que se permiten. Además, se establecen diferentes requisitos tales como el número de ruedas a emplear o disponer de espacio para el equipaje.

2.3.1.1 Tipo A: Prototipos

Los vehículos en esta categoría (ver figura 1.1) deben ser contruidos de la manera más aerodinámica y eficiente posible, y sus características básicas, establecidas por la organización, son las siguientes:

- La altura tiene que ser inferior a los 100 cm.
- El ancho debe estar entre los valores mínimos y máximos de 50 cm y 130 cm.
- El peso máximo no puede superar los 140 kg, sin incluir al conductor.
- La longitud no debe sobrepasar los 350 cm.



Figura 2.1 Ejemplo de “Prototipos” [5]

2.3.1.2 Tipo B: UrbanConcept Cars

Los UrbanConcept Cars se introdujeron en 2003 con la idea de ampliar la gama de vehículos y de competidores. Esto motivó que los estudiantes llegasen a fórmulas más eficientes en términos de combustible, que pudieran ser aplicadas a los coches de hoy en día.

A diferencia de los Prototipos, estos coches deben ser lo más parecidos a los vehículos comunes: deben tener cuatro ruedas, un volante, luces de posición y de freno, puertas, pedal de freno, etc. Si bien, no pueden comercializarse ni ser utilizados en las vías públicas.

El uso de tecnologías híbridas se permite para esta categoría. Con esto se pueden combinar tanto la combustión interna del propio motor como los generadores de energía eléctrica. Pero no está permitido el uso de placas solares en los vehículos híbridos.

Además, la organización de la competición establece una serie de dimensiones y pesos para este tipo de vehículos que se detallan a continuación:

- La altura del vehículo está comprendida entre los 100 cm y los 130 cm.
- El ancho del vehículo está comprendido entre los 120 cm y los 130cm.
- El peso máximo no debe superar los 160 kg, sin incluir al conductor.
- La longitud puede variar entre los 220 cm y los 350 cm.
- El compartimento del conductor debe tener una altura mínima de 88 cm y una anchura mínima de 70 cm en la zona de los hombros.



Figura 2.2 Ejemplo de “UrbanConcept Car” [6]

2.3.2 Según la fuente de energía

El uso de diferentes fuentes de energía, permite a los equipos una mayor libertad en la búsqueda del vehículo más eficiente. Los resultados obtenidos de consumo con cualquier tipo de energía, se transforman siempre al equivalente energético en

kilómetros por litro de gasolina 95, de forma que es posible comparar los resultados de todos los vehículos, independientemente de su fuente de energía.

2.3.2.1. Gasolina Sin Plomo 95

Es uno de los combustibles más utilizados y efectivos, al igual que se considera de los de más fácil adquisición, ya que la mayoría de los motores de dimensiones reducidas incorporan este tipo de combustible.

2.3.2.2. Diesel

En la competición, este tipo de combustible no es el más utilizado, sin embargo, el diesel ofrece excelentes prestaciones y ha ayudado a muchos de los corredores a conseguir buenas marcas en casi todas las ediciones.

2.3.2.3. Gas de Petróleo Licuado (GPL)

El Gas de Petróleo Licuado o LPG (Liquefied Petroleum Gas) está constituido principalmente por Propano y se obtiene descomponiendo el Petróleo y comprimiendo el Gas hasta licuarlo. Es el carburante menos empleado en la competición también ha proporcionado muy buenos resultados.

2.3.2.4. Gas To Liquid (GtL 100%)

Esta tecnología transforma el Gas Natural (principalmente Metano) por medio de una serie de procesos catalíticos de obtención de combustibles con contenidos de cero contaminantes como el diesel, nafta, lubricantes, etc.

2.3.2.5. Fatty Acid Methyl Ester (FAME 100%)

Se trata del famoso Biodiesel, creado a partir de ácidos grasos procedentes de aceites usados, grasas vegetales y/o animales o desechos. Su uso en la competición se ha visto incrementado al ser un combustible ecológico y pensado en beneficio del medio ambiente.

2.3.2.6. Etanol E100 (100% Etanol)

También se le denomina alcohol etílico y su presentación en estado líquido e incoloro procede de la destilación de la fermentación anaeróbica de una disolución rica en azúcares.

2.3.2.7. Pila de Hidrógeno

Este tipo de energía se fundamenta de la conversión de pila de combustible. Estas pilas mueven motores eléctricos mediante la conversión de Hidrógeno en electricidad. La pila de combustible es una de las energías alternativas más estudiadas y valoradas en los últimos años y ha provocado el interés de los fabricantes de vehículos a escala mayor porque sus emisiones son principalmente agua. Más de 40 equipos han utilizado este método y sus resultados son inmejorables.

2.3.2.8. Energía Solar

La energía proveniente del sol puede ser muy útil, ya que es una fuente inagotable de energía que no produce contaminantes. Su funcionamiento se basa en la obtención de energía eléctrica mediante el uso de células fotovoltaicas.

2.4. Vehículo a diseñar

El vehículo de la Universidad Carlos III participará dentro de la categoría de prototipos, ya que en esta clase de automóviles se da una mayor libertad a la hora de diseñar, lo que permite un mayor grado de innovación.

La fuente de energía empleada es gasolina 95, pues es la más accesible y ha proporcionado excelentes resultados en ediciones anteriores.

2.5. El circuito

El circuito que albergará el evento es el *EuroSpeedway Lausitz* [7] (ver figura 2.3), en Alemania. Se trata de un gran circuito de carreras que cuenta con los más altos requisitos técnicos y de infraestructuras.



Figura 2.3 Vista aérea del circuito [8]

Lausitz tiene una longitud de 4,534 kilómetros, cubre un área total de 367 hectáreas y se encuentra muy bien comunicado con los principales medios de transporte. También dispone de 45 talleres para las inspecciones técnicas y 55 pits (ver figura 2.4).



Figura 2.4 Panorámica del EuroSpeedway Lausitz [9]

De las numerosas pistas con las que cuenta el circuito, la empleada para la competición se encuentra marcada en azul en la figura 2.5. Se trata de un recorrido sencillo con rectas largas y tres curvas con radios de curvatura mayores de 167 m, por lo que dadas las velocidades que se alcanzan (~ 40 km/h), la toma de curvas no será un factor decisivo para la carrera.



Figura 2.5 Plano del EuroSpeedway Lausitz [7]

Capítulo III

ESTRUCTURAS EN VEHÍCULOS

3.1.- Introducción

Los vehículos automóviles precisan de una estructura sólida para sostener todos los elementos que lo conforman, soportar los esfuerzos a los que está sometido durante su funcionamiento y aportar seguridad a sus ocupantes, y en este capítulo se describen los elementos básicos que forman los vehículos automóviles convencionales y, con mayor detalle, los tipos de estructuras que portan.

3.1.1.- Sistemas que forman el automóvil

Con el propósito de delimitar con claridad la posición y utilidad de la estructura del automóvil, a continuación se detallan las partes de las que está compuesto, básicamente, un automóvil [10]:

- **Chasis**. Es el conjunto de elementos que necesita un vehículo para funcionar. Dentro del mismo se encuentran los siguientes sistemas:
 - **Estructura**. Es el armazón sobre el que se montan y relacionan todos los elementos del automóvil. Es el esqueleto del coche y, además de actuar de sostén y soporte, resiste las cargas dinámicas que se originan durante su funcionamiento.
 - **Motor**. Es el encargado de proporcionar al vehículo la fuerza necesaria para su desplazamiento.
 - **Transmisión**. Se trata del sistema encargado de trasladar el movimiento y la fuerza del motor a las ruedas.
 - **Suspensión**. La función del sistema de suspensión de un vehículo es sostener el peso del mismo y absorber las sacudidas de la marcha.
 - **Dirección**. Es el sistema encargado de orientar las ruedas directrices según desee el conductor.
 - **Frenos**. Su misión es la de proporcionar la fuerza necesaria para detener o mantener inmóvil el vehículo.
 - **Sistema eléctrico**. Se encarga de proporcionar energía eléctrica a todos los elementos del vehículo que la necesitan para su funcionamiento.

- **Carrocería**. Su función principal es la de alojar y proteger a los pasajeros del vehículo. Principalmente se compone de:
 - **Casco**. Es la parte principal de la carrocería. Es fija y se encuentra firmemente anclada al chasis.
 - **Puertas**. Son las piezas móviles de la carrocería, que permiten el acceso a las distintas partes del vehículo.
 - **Cristales**. Son los elementos de la carrocería que permiten ver desde el interior del automóvil.

3.3.- Tipos de estructuras en los automóviles

Entre las estructuras que se encuentran en los vehículos existen cuatro tipos principales: bastidor de largueros, bastidor tubular, bastidor de tubo central y carrocería autoportante o monocasco [11].

3.3.1.- Bastidor de largueros

El bastidor de largueros es una estructura metálica con forma rectangular, formada por dos largueros dispuestos longitudinalmente y unidos mediante travesaños que le aportan mayor rigidez al conjunto (ver figura 3.1). Es la estructura más utilizada entre 1930 y 1960 tanto para modelos de calle como para competición.

Para su construcción se empleaban principalmente perfiles en C y se mantenía la independencia entre el chasis y la cabina, lo cual creaba un conjunto resistente pero con unas propiedades a torsión muy pobres.

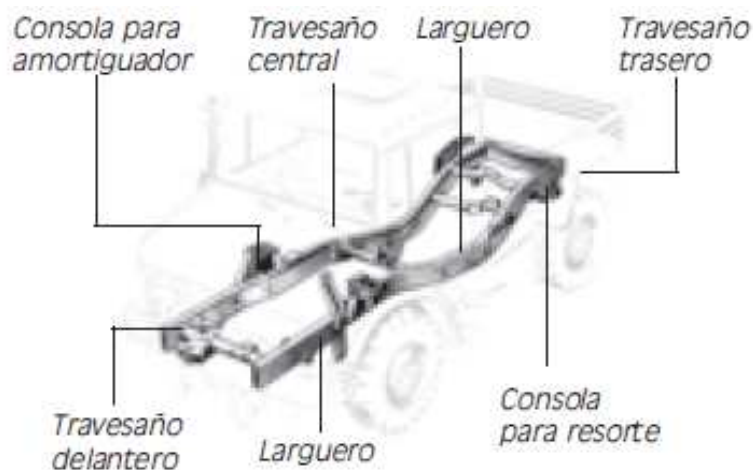


Figura 3.1 Bastidor de largueros [12]

Actualmente, se utilizan los bastidores de largueros, contruidos mediante hidroformado de perfiles cerrados, como parte de la disposición *body on frame*, donde se integran con

la cabina para formar un conjunto rígido. Este tipo de estructura es la empleada en vehículos 4x4, y en camiones debido a la facilidad para montar distintas carrocerías.

Para el diseño del prototipo, se emplea este tipo de bastidor gracias a su simplicidad. Aunque, a diferencia de los vehículos convencionales que emplean bastidores de largueros, se optimiza la estructura mediante el empleo de tubos no horizontales para mejorar su resistencia.

3.3.2.- Bastidor tubular

El bastidor tubular (ver figura 3.2) está formado por un armazón de tubos rectos unidos entre sí, que adoptan la forma de una jaula. A este entramado se anclan, directa o indirectamente, el resto de elementos del automóvil.

La ventaja fundamental de este tipo de bastidor es que sus elementos trabajan principalmente de forma axil, por lo que con una buena disposición geométrica se puede generar una estructura rígida, resistente y a la vez liviana.

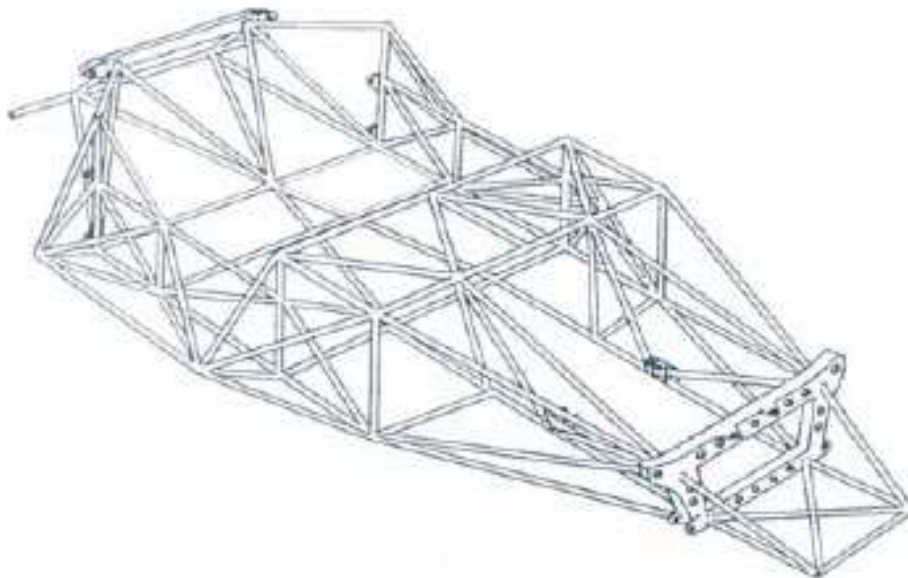


Figura 3.2 Bastidor tubular [11]

Uno de los principales precursores del bastidor tubular es el mítico Mercedes Benz 300 SL de 1952 (Alas de gaviota). La llamativa forma de sus puertas, viene dada por la medida que adoptaron los ingenieros de Mercedes, para solventar el problema de la debilidad estructural que existía en la zona del habitáculo. La solución extendía la estructura tubular hasta media altura en las zonas laterales del habitáculo, por lo que el diseño no admitía un modelo convencional de puerta. En la actualidad no es el modelo de bastidor más utilizado, aunque se sigue empleando en algunos coches deportivos.

3.3.3.- Bastidor de tubo central

El bastidor de tubo central está constituido principalmente por un tubo central de sección rectangular (ver figura 3.3). Esto supone una limitación importante en la habitabilidad del vehículo, de modo que muchos de los vehículos con este tipo de bastidor derivaron en los denominados *side by side*, con dos asientos a ambos lados de una gran consola central que dejaba espacio para el tubo central.

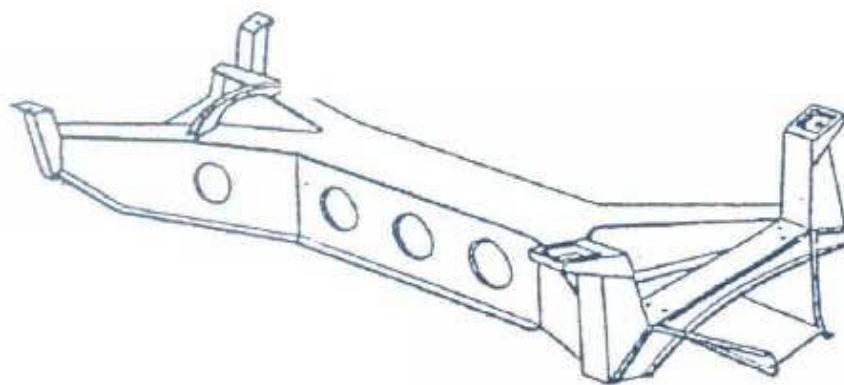


Figura 3.3 Bastidor de tubo central [11]

Los bastidores de tubo central son una solución económica para modelos pequeños, pero adolecen de rigidez y no son rentables para grandes producciones en serie. Algunos de los principales precursores de este tipo de bastidor son el Triumph Spitfire y los Lotus Elan de 1962 a 1973.

3.3.4.- Carrocería autoportante

La carrocería autoportante, o monocasco (ver figura 3.4), es la estructura utilizada en la mayoría de los automóviles comercializados. Aprovecha el armazón metálico de la carrocería para formar la estructura del vehículo, por lo que goza de gran rigidez e infinidad de ventajas, entre las que destaca una mayor seguridad para sus ocupantes.



Figura 3.4 Carrocería autoportante [11]

Los principales materiales utilizados para este tipo de bastidores son el acero, el aluminio e incluso la fibra de carbono en coches de competición con elevadas exigencias. Los procesos de fabricación de estas estructuras suelen estar muy automatizados ya que, en las versiones construidas en metal, se requiere una gran cantidad de soldaduras entre sus elementos. Son ideales para turismos debido al buen aprovechamiento del espacio, y además permiten programar la deformación en caso de choque, por lo que contribuyen a crear una mayor seguridad para los ocupantes.

Capítulo IV

PARÁMETROS DE DISEÑO DEL BASTIDOR

4.1.- Introducción

El diseño de la parte delantera del bastidor del prototipo se ha realizado teniendo en cuenta el objetivo de la competición, que es conseguir un coche energéticamente eficiente, respetando las normas impuestas por la organización y atendiendo a las características determinadas por los demás grupos de diseño del prototipo.

El hecho de perseguir la mayor eficiencia energética obliga a crear un bastidor con el menor peso posible. La consideración de este factor observado a la hora de construir prácticamente todos los vehículos, se maximiza en un coche de competición, donde no es preciso garantizar una vida larga de la estructura.

Dado que la reducción de peso es un factor clave para lograr los mejores resultados y que las exigencias de la competición no requieren un coche con buenas cualidades dinámicas, se antepone dicho factor a cualquier otro aspecto, siempre que se garantice el exigente nivel de seguridad dispuesto en este proyecto. Es preciso recordar, que una

persona viajará en el interior del prototipo y, por tanto, es un objetivo fundamental garantizar la integridad del piloto.

4.2.- Parámetros prefijados

Puesto que, según se ha señalado, el diseño del prototipo se ha ejecutado en coordinación con otros grupos de trabajo, los parámetros prefijados por los mismos, con anterioridad a este proyecto, han condicionado las particularidades de la parte delantera del bastidor, que ha sido planteada conforme a dichos valores, enumerados en este apartado.

4.2.1.- Batalla

La batalla [10], o distancia entre ejes, es la longitud que existe entre el punto medio inferior de la rueda delantera y el punto medio inferior de la rueda trasera de un vehículo (ver figura 4.1). Dicha magnitud ha de medirse con la suspensión en reposo y la dirección orientada hacia el frente.

Es posible comprobar que la batalla afecta de forma significativa al comportamiento dinámico del vehículo, ya que influye directamente en las transferencias de carga que se producen entre sus ejes y en la posición de las reacciones laterales con el suelo. Es en consecuencia un parámetro determinante en la maniobrabilidad y estabilidad.

Manteniendo constante el valor del resto de parámetros, se advierte que a mayor batalla, más estabilidad. Sin embargo, con una menor separación entre ejes se consigue una mayor maniobrabilidad.

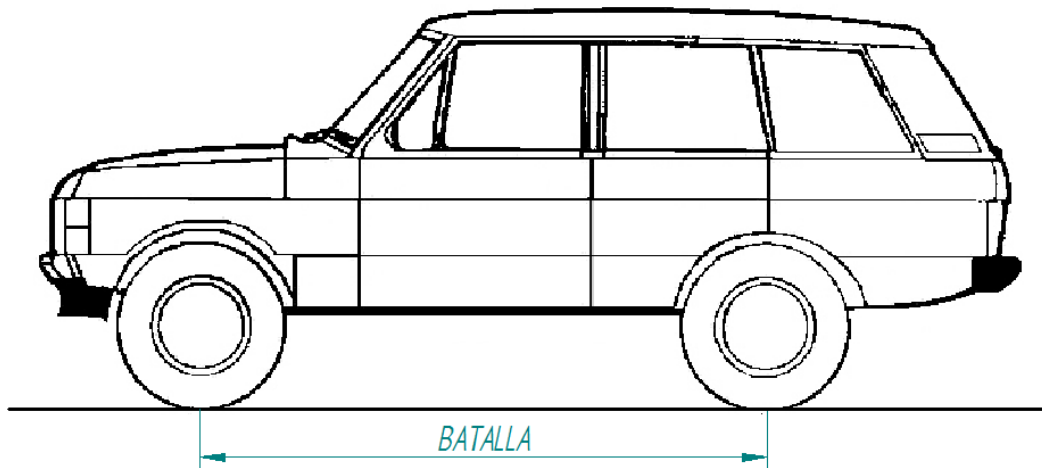


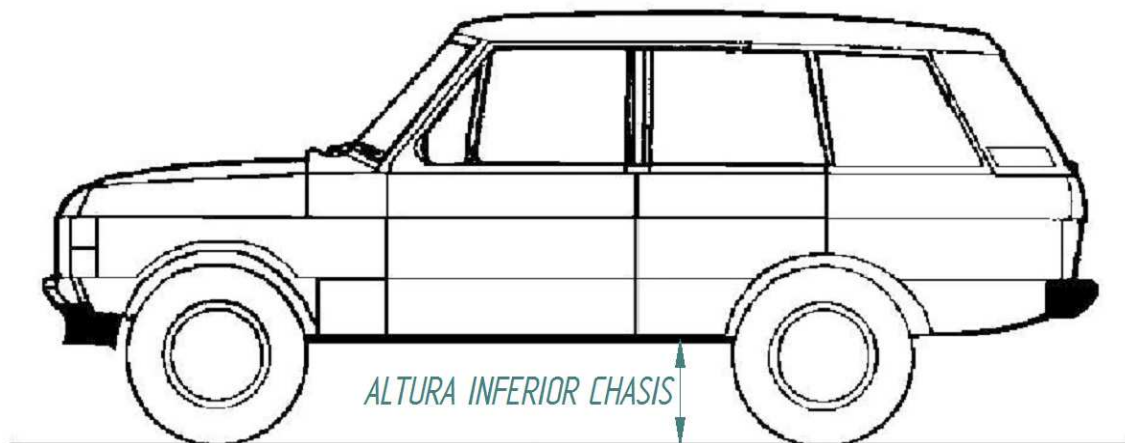
Figura 4.1 Batalla del vehículo

A fin de conservar la validez de los cálculos efectuados por el grupo de prestaciones, se ha resuelto emplear una medida para la batalla que se aproxime en la medida de lo posible a los **1500 mm** prefijados por dicho grupo. A la vez, y de conformidad con la exigencia de reducir peso, se minimiza el valor de la batalla con el propósito de reducir la longitud total del vehículo.

4.2.2.- Altura de la parte inferior del chasis

La distancia entre el suelo y el punto inferior del chasis (ver figura 4.2) influye decisivamente sobre dos conceptos relacionados con el comportamiento del vehículo: altura del centro de masas y comportamiento aerodinámico.

Elevar el centro de masas disminuye las cualidades dinámicas del prototipo [13]. Con todo, no es preciso mejorar dichas características en detrimento de otros valores, y efectivamente, maximizar las cualidades dinámicas no es una de las prioridades del diseño.

**Figura4.2** Altura inferior del chasis

En lo relativo al comportamiento aerodinámico del prototipo, la forma y tamaño de la carrocería y otros elementos exteriores del coche ejercen una influencia decisiva sobre la resistencia aerodinámica. En particular, el diseño del área frontal del vehículo debe tener la menor superficie posible independientemente de su altura.

**Figura4.3** Forma de media gota [14]

Analizando la forma de los vehículos empleados en pasadas ediciones de la competición, se observa que lo habitual es optar entre dos soluciones; una de ellas es

construir un coche con forma de media gota (ver figura 4.3), con la parte inferior plana y muy próxima al suelo, para así reducir la altura total.

La segunda opción consiste en diseñar la carrocería con forma de gota (ver figura 4.4), con lo que se consiguen flujos de aire con baja fricción alrededor de todo el coche.



Figura 4.4 Forma de gota [15]

Finalmente la solución empleada, para facilitar la fabricación del prototipo, es la de reducir su altura configurando la parte inferior plana. Asimismo, con el fin de rebajar la altura del bastidor se ha establecido, por el grupo de trabajo de la estructura, una altura mínima del bastidor, respecto del suelo, de **50 mm**.

4.2.3.- Dimensiones de la parte trasera

Como se observa en la figura 4.5, en el prototipo en cuestión, el sector posterior del bastidor se une directamente al delantero mediante un eje vertical, que permite el movimiento requerido por la rueda trasera para hacer posible la dirección del vehículo.

Además, el eje trasero se sitúa en el extremo posterior de la parte trasera del bastidor, por lo que la longitud de la parte trasera del bastidor afecta directamente a la batalla, y por consiguiente al reparto de cargas en los ejes, de forma que, a mayor longitud, es mayor el peso soportado por el eje delantero y viceversa. La longitud de la parte trasera, predeterminada por el equipo de trabajo encargado de preparar esta sección del bastidor, es de **555 mm**.

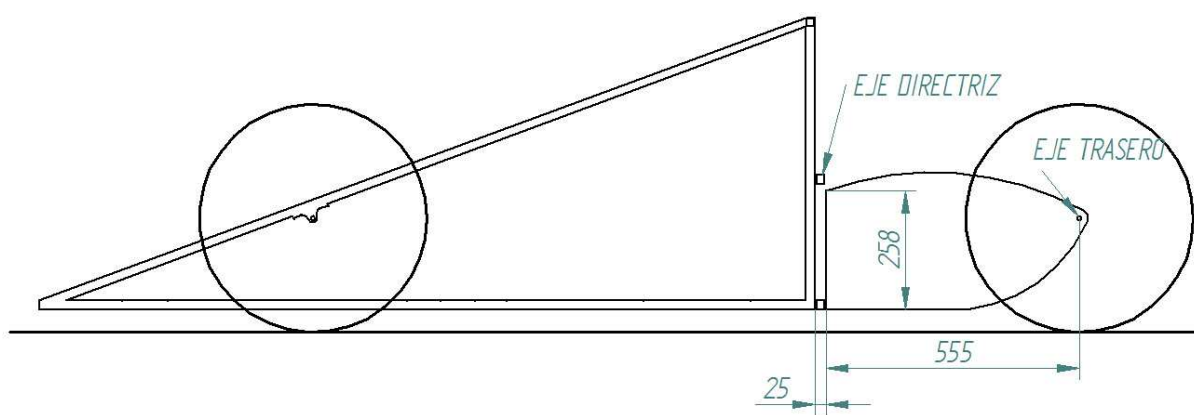


Figura 4.5 Dimensiones de la parte trasera

Producto de las cargas que soporta la estructura, en la zona de unión entre la parte trasera y la parte delantera del bastidor se produce un momento, el cual es transmitido de una estructura a otra a través de los anclajes del eje con cada una de las partes. Puesto que, dichas uniones se sitúan en los extremos superior e inferior de la parte trasera, las tensiones recibidas por las sujeciones del eje a la parte delantera son menores cuanto mayor sea la altura de esta parte. La altura de la parte trasera, medida en el punto de su unión con el eje, es de **258 mm**. Así pues, el enganche superior de la estructura delantera a la parte trasera comienza a una altura de **275mm**. Además se cuenta con un espacio entre la parte trasera y la delantera destinado al eje de unión de **25 mm**.

4.2.4.- Disposición de las ruedas

Teniendo en cuenta los diseños de los vehículos participantes en las ediciones anteriores, y más concretamente los que han obtenido mejores resultados, el prototipo consta de tres ruedas, de las cuales dos se sitúan en la parte delantera, pegadas al bastidor, y una en la parte trasera, siendo esta última directriz y motriz (ver figura 4.6).

En cada una de las ruedas de un vehículo se producen pérdidas, tanto en el contacto del neumático con el asfalto como en cada uno de los elementos de fricción que permiten su movimiento. Por ello, se ha tomado la opción de emplear 3 ruedas, que es el número mínimo que exige la normativa de la competición.

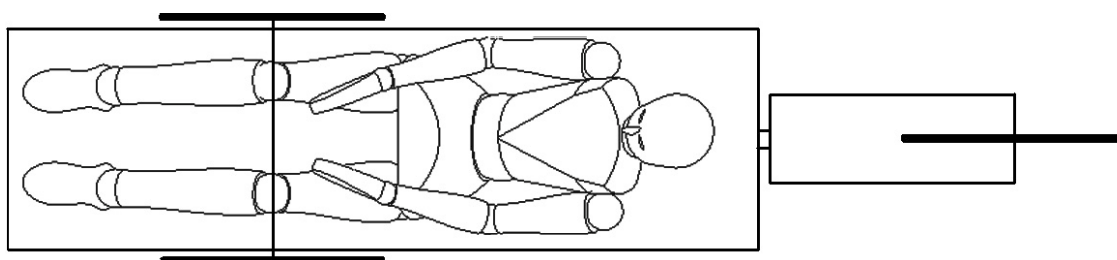


Figura 4.6 Disposición de las ruedas

Dado que el motor se sitúa en la parte trasera, contar con una rueda trasera motriz supone transmitir la fuerza del motor directamente a la rueda, lo que significa un ahorro en elementos de transmisión, eliminando masas y pérdidas por rozamiento innecesarias.

Para la dirección del vehículo se ha elegido la rueda trasera, ya que un eje delantero directriz precisa más espacio para su funcionamiento, lo que supondría un aumento del área frontal y en consecuencia incrementaría la resistencia aerodinámica del prototipo. Y esta es la razón también por la que se ha decidido colocar las ruedas delanteras lo más próximas que sea posible al bastidor.

4.2.5.- Tamaño de las ruedas

Para el prototipo se emplean neumáticos creados especialmente por Michelin para la competición, así como llantas de bicicleta de BMX, que se ajustan a sus dimensiones.

Los neumáticos de Michelin están diseñados para ejercer una baja resistencia a la rodadura, facilitando así la obtención de buenas marcas durante la competición.

Las llantas utilizadas en las bicicletas de BMX cuentan con la robustez necesaria, ya que se emplea, en voladizo, un elemento diseñado para trabajar con presiones iguales en ambos lados.

El conjunto tiene un radio exterior de **250 mm**, distancia necesaria para situar los anclajes de las ruedas en el bastidor.

4.3.- La normativa en el diseño del bastidor

En la normativa de la competición [4] se encuentra un gran número de artículos que afectan directamente al diseño del bastidor, y que regulan aspectos tales como la posición del piloto o las dimensiones del vehículo.

El conjunto de normas aplicables se desarrolla principalmente en dos capítulos, el primero reúne las reglas concernientes a la competición, independientemente de su localización, mientras que el segundo contiene la normativa de la competición europea.

4.3.1.- Artículos de la normativa que afectan al diseño

En este apartado, sobre las disposiciones que rigen la competición, se transcriben los artículos que, de manera directa o indirecta, afectan al diseño del bastidor delantero del prototipo, traducidos al castellano.

A continuación de cada uno de los artículos, se incluye un breve comentario sobre cómo afecta, dicha regulación, al bastidor y/o las medidas que se toman en consecuencia.

4.3.1.1.- Artículo 21: Peso del piloto

El artículo 21 de la normativa indica que “los conductores del prototipo deben pesar por los menos 50 kg con todo el equipamiento de conducción. En caso de no alcanzar el peso mínimo, será necesario colocar lastre en el vehículo. Este lastre será proporcionado por el equipo y tendrá que estar bien anclado para asegurar que no producirá daños al piloto en caso de vuelco. Además debe ser desmontable para poder pesarlo.”

Este precepto condiciona la selección del piloto estableciendo la masa mínima admitida. Así pues, en consonancia con la necesidad de aligerar el vehículo en el momento de la competición, se debe procurar no sobrepasar los 50 Kg establecidos ya que, exceder esta cifra, afectaría negativamente a los resultados.

4.3.1.2.- Artículo 22: Casco

Según establece el artículo 22 “tanto para las pruebas como para la competición, los conductores tienen que llevar un casco (se recomienda el uso de cascos de motocicleta) de acuerdo a las especificaciones de seguridad descritas en el Capítulo II de la normativa de cada evento. Las pegatinas del casco deben ser legibles. Los cascos del

piloto y el piloto suplente serán inspeccionados. Se permiten cascos integrales y abiertos. Normalmente, ambos tipos de casco admiten pantalla protectora, lo cual es recomendable. Si no se lleva pantalla protectora es obligatorio el uso de gafas de seguridad. Los cascos se deben ajustar a los conductores o no serán válidos para la competición.”

El empleo de casco supone un peso adicional a tener en cuenta. La masa media de un casco es de 1,3 kg.

4.3.1.3.- Artículo 23: Ropa del conductor

En el artículo 23 de la normativa se estipula que “todos los conductores deben llevar un mono de carreras como última capa (es recomendable que sea ignífugo). No se permite llevar ropa informal o de calle. El Capítulo II recoge las pautas respecto las especificaciones y validez de los monos de carreras. Esta prohibido para los pilotos llevar ropa interior o exterior sintética mientras estén sentados en el prototipo. Es obligatorio el uso de guantes y gafas, que deben se suministrados por el equipo; esta prohibido conducir descalzo o únicamente con calcetines.”

Al igual que en el caso del casco, la utilización de un mono de carreras obliga a incorporar un peso extra al total del piloto. La masa media de un mono de competición es de 1,5 kg.

4.3.1.4.- Artículo 25: Diseño del vehículo

El artículo 25 de la normativa de la competición dispone que “durante el diseño, la construcción y el planteamiento de la carrera, los equipos participantes deben prestar especial atención a todos los aspectos de la seguridad. Como por ejemplo, la seguridad del piloto, de los demás competidores y de los espectadores. Los vehículos deben tener

tres o cuatro ruedas, que en condiciones de funcionamiento normal deben permanecer en contacto con el suelo. Están prohibidos los elementos aerodinámicos que se ajusten o cambien de forma con el viento cuando el vehículo esta en movimiento. Los vehículos no deben tener ningún elemento externo que pueda causar daños a los demás. Ninguna superficie exterior tendrá un radio menor de 5cm, o en su caso será de espuma o algún material deformable. El interior del vehículo no debe contener ningún elemento que pueda herir al conductor en caso de colisión.”

Según se indica, el diseño del vehículo está orientado a garantizar la seguridad de las personas implicadas en su funcionamiento. Ha sido pues un principio básico emplear unos coeficientes de seguridad elevados que garanticen la seguridad e integridad del piloto, del resto de competidores así como de los asistentes al evento.

Tras la elección, ya precisada, en cuanto al número de ruedas, únicamente resta evitar la instalación de elementos susceptibles de causar daños en caso de accidente

4.3.1.5.- Artículo 26: Dimensiones

Determinadas dimensiones del vehículo se encuentran reguladas en el artículo 26 donde se expone que *“la altura máxima debe ser menor de 100 cm. La máxima altura, medida en la parte superior del habitáculo debe ser menor que 1,25 veces el mayor ancho de vía del vehículo. El ancho de vía mínimo será de 50 cm. La batalla debe tener una longitud al menos de 100 cm. El ancho máximo del vehículo no excederá de 130 cm. La longitud total del vehículo no será mayor de 350 cm. La masa máxima del vehículo, sin conductor, será de 140 kg.”*

En este artículo, se encuentran las dimensiones máximas y mínimas que debe tener el vehículo. En todos los parámetros regulados se ha procurado emplear el mínimo impuesto por la organización, ya que, como se ha indicado anteriormente, un prototipo de reducidas dimensiones y poco peso será más eficiente. Por ejemplo, a menos que se

precise contar con más espacio en el habitáculo, el ancho de vía del prototipo será de 500 mm.

4.3.1.6.- Artículo 27: Rigidez del chasis/monocasco

En el artículo 27 de la normativa se estipula que “los equipos deben asegurarse de que el chasis o monocasco del vehículo es sólido. El vehículo debe tener una barra antivuelco efectiva, que quede 5cm por encima del casco del piloto estando en la posición de conducción y con el cinturón de seguridad abrochado. La barra antivuelco también debe sobrepasar, en anchura, los hombros del piloto en la posición de conducción y con el cinturón de seguridad abrochado. Se pueden utilizar barras antivuelco tubulares o en forma de panel. Si se monta una barra antivuelco tubular debe ser de metal. Cualquier barra antivuelco debe ser capaz de soportar una carga estática vertical y horizontal de 700 N sin deformación permanente. El chasis o monocasco del vehículo tendrá que ser suficientemente ancho y largo para proteger al piloto en caso de colisión frontal o lateral.”

El bastidor debe ser capaz de soportar las cargas producidas como consecuencia de la competición sin sufrir deformaciones excesivas.

Uno de los componentes de la estructura que forma el bastidor es la barra antivuelco. Para su diseño es necesario considerar las dimensiones que ocupa el piloto en la postura normal de conducción, ya que dicha barra debe extenderse más allá de sus hombros y 50 mm por encima de su casco. Además, es preciso analizar el comportamiento de la barra antivuelco frente a una carga horizontal y vertical de **700 N**.

Otra de las pruebas necesarias es analizar las deformaciones que se producen en el bastidor, en caso de colisión, y analizar cómo afectan al piloto.

4.3.1.7.- Artículo 28: Visibilidad

Según precisa el artículo 28, *“el piloto debe tener un arco de visión directa en el frente y 90° a cada lado del eje longitudinal del vehículo. Este campo de visión se deberá conseguir sin ayuda de ningún dispositivo óptico ni electrónico como espejos, prismas, periscopios, etc. Para alcanzar un arco de visión completo está permitido que el piloto mueva la cabeza dentro de los límites del habitáculo. El vehículo tendrá que estar equipado con un espejo retrovisor en cada lado, cada uno con una superficie mínima de 25 cm². Tanto la visibilidad proporcionada por estos retrovisores como su correcto anclaje serán inspeccionados. Un inspector comprobará la visibilidad a cada lado del vehículo para evaluar la seguridad en pista. El inspector valorará la buena visibilidad con siete bloques de 60 cm de altura dispuestos cada 30° en un semicírculo de 5 m de radio enfrente del coche.”*

El artículo precedente obliga, partiendo de la posición de conducción del piloto, a comprobar que ningún elemento del bastidor delantero interfiere en su campo de visión.

4.3.1.8.- Artículo 29: Cinturón de seguridad

El artículo 29 de la normativa de la competición prescribe la utilización de un cinturón de seguridad y unas características concretas para el mismo. *“El asiento del piloto deberá contar con un cinturón de seguridad de, al menos, cinco puntos para mantener al conductor en su sitio. El punto de anclaje de la correa inferior tendrá que estar por debajo del torso del piloto para evitar su deslizamiento hacia delante. Las 5 correas deben estar bien ancladas a la estructura principal del prototipo y unirse en una hebilla diseñada especialmente para este tipo de cinturones. El cinturón de seguridad debe llevarse puesto y ajustado siempre que el vehículo esté en marcha. La eficacia del cinturón de seguridad y su ajuste será evaluada durante la inspección técnica del vehículo, elevándolo con el conductor dentro, usando el cinturón de seguridad para*

levantarlo. El cinturón de seguridad debe resistir una fuerza al menos de 1,5 veces el peso del piloto.”

En consecuencia, es preciso determinar los puntos de anclaje del cinturón de seguridad y probar el comportamiento de dichos puntos, aplicando las cargas indicadas, a fin de analizar las tensiones que producen en el bastidor.

4.3.1.9.- Artículo 30: Acceso al vehículo

En el artículo 30 se indica que “es obligatorio que los pilotos sean capaces de abandonar su vehículo en cualquier momento, aún con el cinturón de seguridad abrochado y sin ayuda, en menos de 10 segundos. Los vehículos con carrocería cerrada deben tener una abertura de salida suficientemente grande. La postura de conducción debe estar pensada para que los equipos de emergencia puedan evacuar al piloto de su vehículo en caso necesario. La abertura del prototipo puede tener bisagras, ser plegable o desmontable y tener una forma fácil de abertura desde el interior, además de estar indicada claramente la forma de abrir desde el exterior con una flecha roja y no requerir ninguna herramienta. Esta prohibido utilizar cinta adhesiva para asegurar el cierre de la abertura desde el exterior.”

En principio, los mayores problemas de acceso y salida del vehículo provienen de la carrocería. No obstante, durante el diseño del bastidor es ineludible observar este artículo para no situar componentes en el mismo que puedan dificultar la salida del vehículo.

4.3.1.10.- Artículo 31: Posición de conducción

Según determina el artículo 31 de la normativa, *“por razones de seguridad, la posición de conducción con la cabeza por delante está prohibida.”*

En este precepto, se condiciona la postura de conducción. Así, examinadas las dimensiones del prototipo, únicamente queda la opción de situar el conductor tumbado con los pies por delante y, por tanto, sólo es preciso analizar la posición de las piernas.

4.3.1.11.- Artículo 33: Aislamiento del motor y del sistema de combustible

El artículo 33 establece que *“una mampara permanente debe separar completamente al compartimento del piloto del sistema de propulsión y de almacenamiento de energía. Dicha mampara será de construcción y material ignífugos. En vehículos con techo cerrado, la mampara debe aislar de forma efectiva el habitáculo del piloto respecto del sistema de propulsión y combustible. En vehículos abiertos, la mampara debe extenderse 5cm por encima del punto más alto del sistema de propulsión y combustible o de los hombros del piloto, dependiendo de cual sea el más alto. El propósito de esta mampara es proteger al piloto del alcance de líquidos o llamas en caso de fugas de combustible o fuego. Además es necesario prestar especial atención a evitar huecos o agujeros entre la estructura y la mampara. La mampara debería ser capaz de evitar el acceso manual del piloto al compartimento del motor.”*

La consecuencia directa de esta norma es la necesidad de contar con un espacio, aunque no de grandes dimensiones, entre el extremo posterior de la cabeza del piloto y el extremo posterior del bastidor delantero, destinado a la colocación de la preceptiva mampara protectora.

4.3.1.12.- Artículo 35: Peso del piloto

Según establece el artículo 35, *“cada vehículo debe contar con un extintor de incendios (de tipo ABC o BC). Todos los pilotos deben ser entrenados en el uso del extintor de incendios. Dicho extintor debe tener una capacidad mínima de 1 kg, estar lleno y tener un certificado de validez que incluya el código del fabricante, la fecha de fabricación, y la fecha de caducidad. Los sistemas de extinción pueden estar colocados en el compartimento del motor y descargar dentro del mismo. Sus sistemas de activación deben situarse dentro del habitáculo y poder ser operable por el conductor desde su posición normal de conducción. Los extintores de mano deben estar colocados dentro del habitáculo y ser accesibles al piloto una vez haya abandonado el vehículo. En caso de incendio, los conductores deben abandonar el vehículo, y si fuera posible, coger el extintor y tratar de extinguir el incendio siempre que no sea peligroso.”*

Según lo dispuesto en el artículo, es necesario contar con una nueva masa dentro del coche, un extintor de 1kg de capacidad en la zona del habitáculo, lo que supone un incremento de 2,25 kg en la masa a considerar.

4.3.1.13.- Artículo 37: Ruedas, ejes y bujes

En el artículo 37 de la normativa se estipula que *“están permitidos todos los tipos de ruedas. Puede utilizarse cualquier tipo de llanta. Las llantas deben ser compatibles con las dimensiones de los neumáticos elegidos para garantizar los estándares de seguridad. Los equipos deben tener en cuenta que las ruedas de bicicleta no suelen estar diseñadas para soportar grandes esfuerzos laterales, como las que se pueden alcanzar en los vehículos de la competición a ciertas velocidades. Los ejes de las ruedas deben estar diseñados para soportar cargas en voladizo (como en las sillas de ruedas) mejor que para cargas distribuidas equitativamente en ambos lados (como en las bicicletas). Las ruedas situadas dentro del vehículo deben estar aisladas del conductor por una mampara. Cualquier uso o manipulación de las ruedas por parte del*

conductor está prohibida desde el momento en el que el vehículo se sitúa en la línea de salida hasta que cruza la meta.”

La precedente disposición recuerda la necesidad de soportar el par generado por las ruedas sobre el eje, bien directamente sobre la estructura del bastidor, o mediante un eje transversal de rueda a rueda.

También es preciso destinar un espacio para la mampara que debe separar al piloto de las ruedas, ya que como se ha descrito con anterioridad, las ruedas delanteras se situarán dentro del habitáculo, lo más cerca posible del bastidor, con el fin de reducir el área frontal del prototipo.

4.3.1.14.- Artículo 40: Frenos

En el artículo 40 de la normativa se determina que “los vehículos tendrán que estar equipados con dos sistemas de frenado independientes; cada sistema, compuesto por un único sistema de control (palanca o pedal), sistema de transmisión (cable o manguitos), y sistema de actuación (pastillas o zapatas) Uno de los sistemas tiene que actuar sobre las ruedas delanteras y el otro sobre las traseras. Al frenar con dos ruedas de un mismo eje, se deben utilizar dos sistemas de actuación comandados por un único sistema de control. Además, la intensidad de frenado de los actuadores izquierdo y derecho tiene que estar equilibrada. Debe ser posible activar los dos sistemas a la vez sin quitar las manos de la dirección. Se recomienda el uso de pedales. La eficacia de los dos sistemas de frenado será evaluada durante la inspección del vehículo. Se colocará el vehículo en una pendiente de 20% de inclinación. Se activará uno de los sistemas de frenado cada vez y cada uno de ellos deberá mantener el vehículo inmóvil. Además, se puede realizar una comprobación dinámica en la pista de pruebas de maniobrabilidad. Se recomienda el uso de sistemas hidráulicos de control. Los sistemas de frenado por cable están permitidos siempre que pasen el examen.”

La colocación de los anclajes del sistema de frenado, introduce nuevos esfuerzos sobre la estructura. Es posible calcular la intensidad de dicha fuerza ya que, a partir de la estimación del peso total del prototipo, se obtiene la fuerza que se debe ejercer sobre cada una de las ruedas para mantenerse inmóvil.

Otro de los parámetros que se extraen del artículo 40 es la deceleración del coche en frenada. En esta circunstancia, el modelo diseñado empleará una fuerza similar a la que necesita para mantenerse inmóvil en la pendiente de la prueba. Consecuentemente, dicha fuerza producirá una transferencia de carga sobre el eje delantero que deberá ser tenida en cuenta.

4.3.1.15.- Artículo 127: Resultados

El artículo 127 de la normativa señala que *“para que un intento sea válido los equipos deben completar las ocho vueltas en un tiempo máximo de 51 minutos con una velocidad media de aproximadamente 30 km/h. La distancia total a recorrer es 25,485 km (8 vueltas de 3,2 km menos la distancia entre las líneas de salida y meta)”*

Ya que la velocidad media que debe mantener el prototipo es de 30 km/h, para los cálculos de esfuerzos en los que sea necesario, como por ejemplo, en el cálculo de las fuerzas laterales en una curva, se tomará como referencia una velocidad de 40 km/h.

4.4.- Estudio biomecánico de la postura del piloto

Entre los principales aspectos a estudiar a la hora de diseñar el bastidor delantero del prototipo, se encuentran el espacio ocupado por el piloto y las cargas que ejerce su peso sobre cada una de las zonas del bastidor, ya que el piloto resulta ser el elemento más pesado del vehículo, por lo que sus características influirán en gran medida sobre el diseño final de la estructura.

En este apartado se examinan los factores decisivos para concretar el espacio que ocupará el piloto dentro del habitáculo en la postura de conducción, y cómo se distribuyen las cargas que provoca su peso sobre el bastidor. Con ese objeto el estudio se divide en cuatro puntos relativos a los elementos que afectan a la postura de conducción, la postura final de conducción, las dimensiones del piloto, la distribución de masas del piloto y a la distribución de cargas sobre el bastidor.

4.4.1.- Elementos que afectan a la postura del piloto

Antes de concretar la postura más apropiada para la conducción del prototipo, es necesario conocer los elementos del mismo que rodean al piloto y que pueden condicionar su posición dentro del habitáculo. Así, respecto de cada elemento se plantean las distintas alternativas de disposición que ofrece, de manera que se puedan obtener varias combinaciones finales y así elegir la que ofrezca mayor comodidad al piloto y a la vez resulte ser la más adecuada para el tipo de bastidor buscado.

4.4.1.1.- Eje delantero

Uno de los mayores obstáculos que se encuentran en el espacio destinado a al habitáculo es el eje delantero (ver figura 4.7). Por su parte, la posición del eje de las ruedas

delanteras con respecto al piloto, viene determinada por el diámetro de las ruedas y la altura del suelo del habitáculo del prototipo.

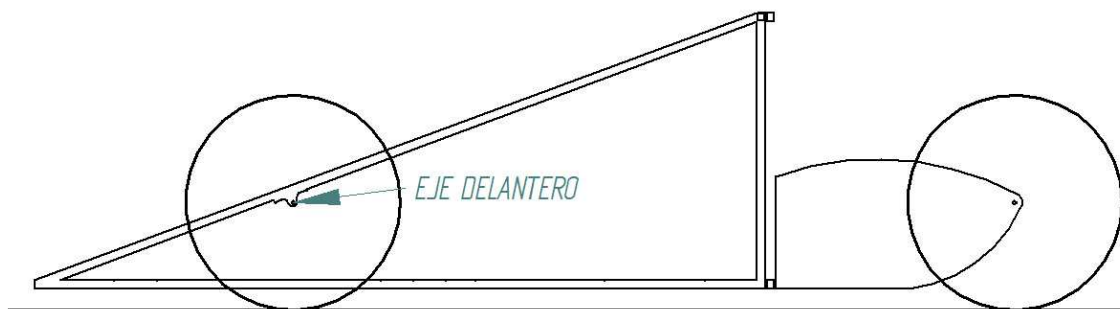


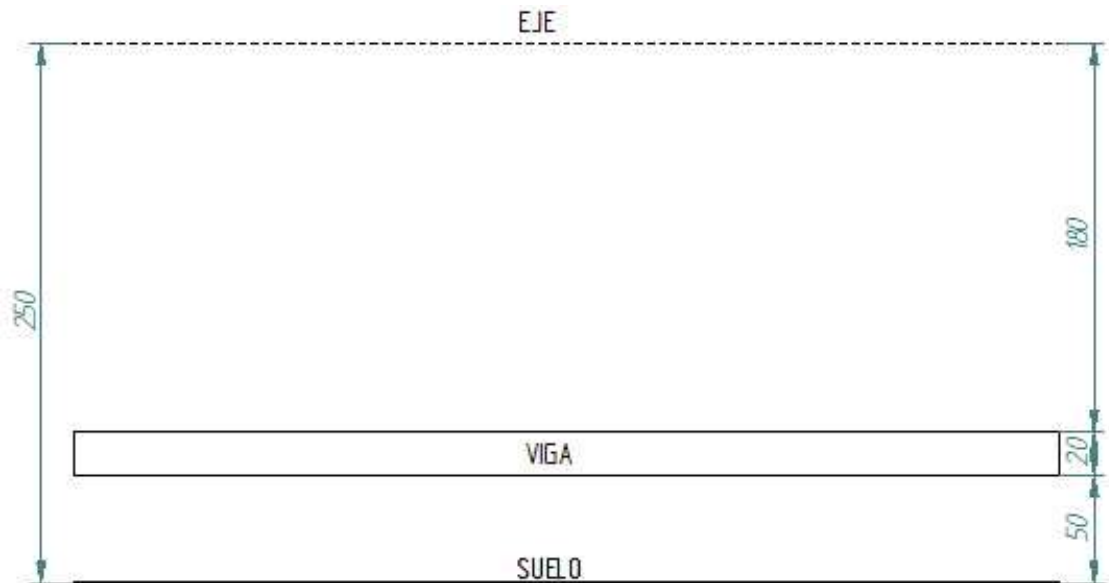
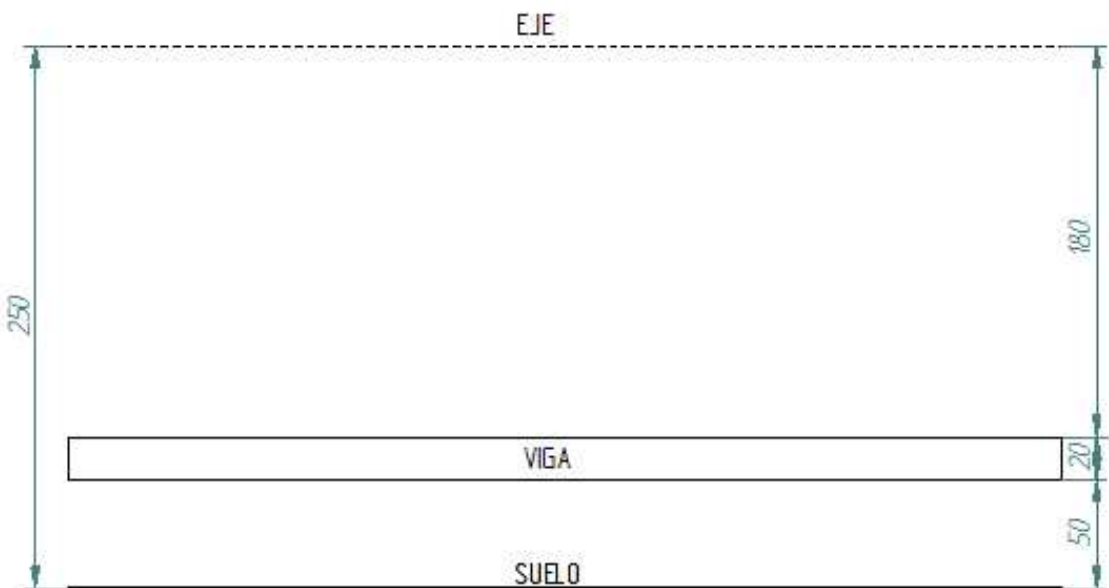
Figura 4.7 Posición del eje delantero

El diámetro de las ruedas ya fue establecido en el apartado 4.2.4. y es de 500 mm, por lo que la altura a la que se sitúa el eje de las ruedas delanteras con respecto al suelo es de **250 mm**.

Es posible calcular la altura a la que se encuentra el suelo del habitáculo, ya que se conoce la altura mínima del bastidor, establecida en el apartado 4.2.2. que es de **50 mm**.

Con todo, y considerando las alternativas más extremas para los elementos situados entre el piloto y el límite inferior del bastidor, se pueden plantear dos opciones:

- Altura de la viga inferior del bastidor 20 mm y altura del suelo del prototipo despreciable. En este caso se consigue, tal y como se observa en la figura 4.8, una altura entre el suelo del habitáculo y el eje delantero de **180 mm**.
- Altura de la viga inferior del bastidor 50 mm y altura del suelo del habitáculo 10 mm. En este caso se obtiene, tal y como se observa en la figura 4.9, una altura entre el suelo del prototipo y el eje delantero de **140 mm**.

**Figura 4.8** Altura viga-eje 1**Figura 4.9** Altura viga-eje 2

En lo que se refiere a la disposición del eje delantero o bien, de la oportuna sujeción de las ruedas, se han esbozado tres posibilidades: utilizar un eje rígido que cruce transversalmente el habitáculo del conductor, habilitar sujeciones de las ruedas directamente en el bastidor o valerse de un elemento curvado de unión entre ruedas.

Cada una de las posibilidades tiene ventajas e inconvenientes, por lo que a continuación se estudia la mejor de las tres opciones:

- La instalación de un eje recto transversal tiene, como ventaja, que se descarga a la estructura del momento flector creado al mantener las ruedas delanteras en voladizo. No obstante colocar el eje por encima de las piernas del piloto resultaría incomodo para la conducción, a la par que peligroso, ya que en caso de colisión, sería alta la probabilidad de que el conductor quedara atrapado. Por ello, queda descartada esta opción, y solo queda la disyuntiva entre colocar el eje delantero por delante de los pies del piloto, lo cual aumenta la batalla y con ello las tensiones que deberá soportar la estructura, o colocar el eje delantero por debajo de las rodillas del piloto. Con esta última solución se consigue una batalla menor, pero se crea la necesidad de analizar si es una postura cómoda para la conducción, teniendo en cuenta las dimensiones del piloto.
- En cuanto a la posibilidad de fijar las ruedas directamente sobre el bastidor, resulta ser una opción ventajosa de cara a elegir la postura de conducción y a permitir la eliminación de elementos que dificulten la entrada al habitáculo. Su único y gran inconveniente es que se originan nuevas tensiones en la estructura. Sería entonces necesario absorber el momento flector, generado por la fuerza resultante de la rueda sobre su eje y la distancia que separa dicha fuerza del bastidor.
- La ultima opción a plantear es la de convertir el eje delantero en un elemento curvado, de forma que no interfiera con el espacio ocupado por el conductor y a la vez pueda absorber el par generado por las ruedas en voladizo. La única desventaja de esta alternativa sería el peso que se añadiría a la estructura.

De todas las posibilidades planteadas, se considera óptima la de situar un eje entre las ruedas que pase por debajo de las rodillas del piloto. De este modo, se puede despreciar el par producido por la distancia entre la resultante de la fuerza en cada rueda, y el bastidor. Adicionalmente, al reducir la batalla, se consigue disminuir las tensiones generadas en el bastidor, por lo que las secciones de los perfiles empleados son menores, creando un bastidor de menor peso.

4.4.1.2.- Volante

En trabajos realizados con anterioridad [16] sobre el sistema de dirección del prototipo, se proyectó la utilización de palancas para su manejo. En la actualidad se ha propuesto la utilización de un volante o manillar, pues facilita la conducción al resultar su uso mucho más intuitivo.

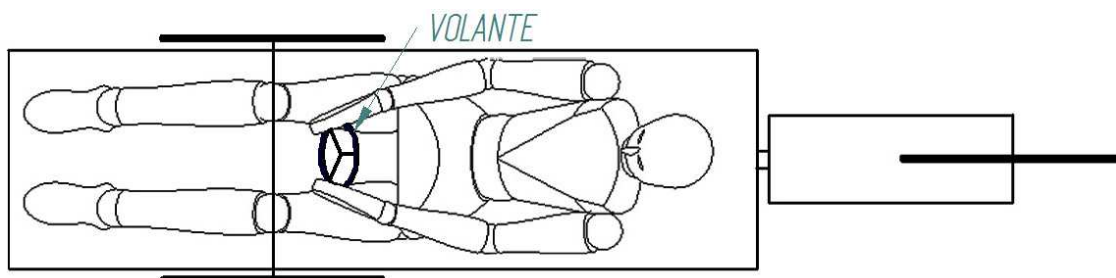


Figura 4.10 Volante del prototipo

En cualquiera de los casos valorados, la posición de los brazos durante la conducción es prácticamente idéntica (ver figura 4.10), ya que lo que esencialmente cambia es la posición de los brazos en dirección transversal, que es precisamente la que menos influye en la postura de conducción.

Resulta recomendable estudiar la posición final de los brazos con un modelo que, situado en la postura de conducción del prototipo indique la posición más cómoda dentro de las posibilidades de espacio que deja el habitáculo.

4.4.1.3.- Campo de visión

El campo de visión mínimo que debe tener el piloto, desde la postura de conducción, viene marcado por la prueba descrita en el artículo 28 de la normativa de la competición.

En primer lugar, hay que comprobar que ninguna barra de la estructura se encuentra a la altura de los ojos del piloto, tanto con la mirada al frente como a lo largo de la semicircunferencia que cubre desde el frente del hasta 90° a cada lado del eje longitudinal del vehículo (ver figura 4.11).

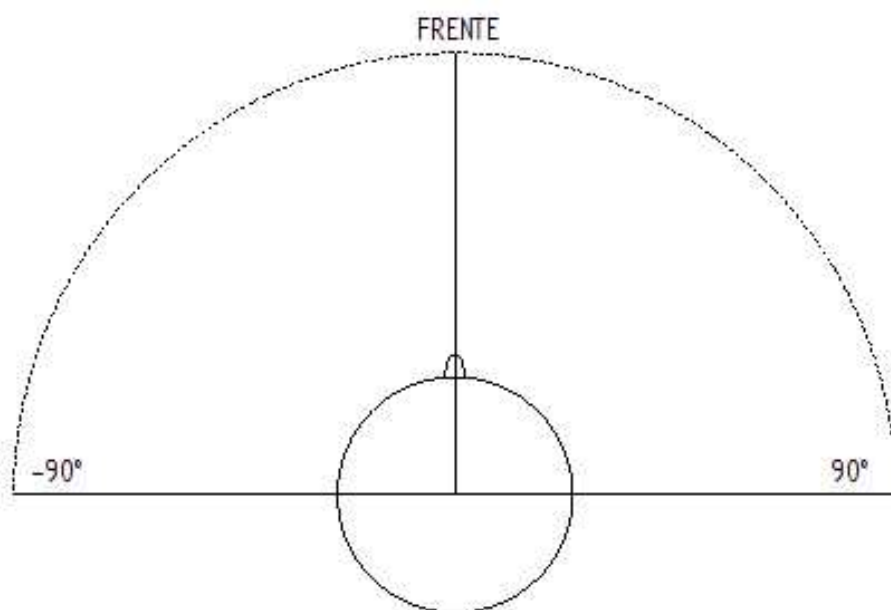


Figura 4.11 Visión del piloto

A continuación, es necesario efectuar los cálculos oportunos para comprobar que, desde la posición del piloto, se puede ver cada uno de los siete bloques que se mencionan en el examen de visión del artículo 28.

A efectos prácticos, no se toma en cuenta la visión del piloto en los planteamientos previos del diseño. Si bien, es necesario efectuar una comprobación final sobre el

bastidor definitivo para verificar que cumple las condiciones descritas anteriormente y, en caso contrario, realizar las modificaciones necesarias sobre la estructura o sobre la postura de conducción.

4.4.1.4.- Dimensiones

La normativa de la competición indica, en el artículo 26, una serie de dimensiones máximas y mínimas para el prototipo, las cuales es necesario considerar, ya que pueden condicionar la postura de conducción.

Según precisa el mencionado artículo, la altura máxima debe ser menor de 1000 mm, por lo que, contando con perfiles de 20 mm de sección y con los 50 mm de espacio hasta la barra antivuelco superior, resulta una altura máxima para el extremo superior del piloto de 680 mm.

En lo que se refiere a la máxima altura, medida en la parte superior del habitáculo, debe ser menor que 1,25 veces el mayor ancho de vía del vehículo. Esta será otra medida a verificar cuando se tenga el ancho de vía del eje delantero.

Dado que el ancho de vía mínimo es de 500 mm, se tratará de conseguir un ancho de vía próximo a esta medida por ser el mínimo requerido en la normativa, teniendo en cuenta las imposiciones derivadas del espacio necesario para el piloto.

La batalla debe tener una longitud al menos de 1000 mm, distancia que se verificará, aunque contando con las dimensiones previstas en este trabajo, no parece que sea necesario.

En cuanto al ancho máximo del vehículo, es de 1300 mm, medida que al igual que sucede en el punto anterior, y a la vista de los distintos valores a considerar, no condiciona parámetros fundamentales para alcanzar el objetivo del proyecto.

Finalmente, la longitud total máxima del vehículo es de 3500 mm, la cual es, de nuevo, una dimensión poco condicionante para el diseño del vehículo, no obstante se debe verificar.

4.4.2.- Postura final de conducción

Una vez conocidos los parámetros que afectan a la postura que ha de adoptar el piloto durante la conducción del prototipo, lo más práctico es recabar la colaboración de un modelo para definir la postura final. Puesto que la comodidad es, en orden de prioridad, el último factor a estudiar, y siendo éste un aspecto difícil de medir, el propio modelo puede indicar, según su experiencia, la posición más confortable, respetando los parámetros impuestos.

El modelo elegido tiene una altura de 1640 mm y una masa de 54 kg. Parámetros que se aproximan a los esperados para el piloto del prototipo.

La dificultad de tomar medidas directamente sobre el modelo, aconseja recurrir a la fotografía. Éste será el medio de generar una imagen plana, de la que extraer las longitudes y ángulos que definirán la postura final.

4.4.2.1.- Determinación de la postura de conducción

Para la determinación de la postura de conducción, se sitúa el modelo según las oportunas indicaciones sobre las distancias aproximadas, máximas y mínimas,

relacionadas con la postura del piloto (ver figura 4.12). La altura mínima para la parte inferior de la rodilla, fijada contando con el tamaño del eje delantero es de 180 mm. Por otro lado, la cabeza se sitúa a la mínima altura necesaria para poder conservar un buen campo de visión por encima de las rodillas.

Una vez colocado el modelo en la postura de conducción, se sitúa la cámara fotográfica sobre un trípode, a la máxima distancia posible del modelo (~6 m), y se encuadra con la máxima distancia focal posible (~56 mm). Dichas exigencias se dirigen a evitar la distorsión provocada por la profundidad del objeto y su distancia al centro de la imagen, cuando se utilizan distancias focales cortas.



Figura 4.12 Modelo en la posición de conducción

Por otra parte, el set de iluminación debe garantizar la completa cobertura del modelo y proporcionar una luz lo suficientemente dura para mantener un adecuado contraste. De esta forma se consigue diferenciar perfectamente todos los elementos de la imagen. En consecuencia se recurre a un único flash proyectado contra un paraguas con reflectante plateado a unos 2 metros del modelo, aproximadamente 20° en altura y 25° con respecto al eje de la cámara, y a la derecha de la imagen.

Una vez conseguida la imagen del modelo en postura de conducción es necesario escalarla. Para ello se elige un objeto de la fotografía, cuya medida es conocida, como referencia que permite relacionar la medida real con la de la imagen. A partir de este punto se pueden tomar las medidas requeridas directamente de la imagen como si fueran las reales.

El siguiente paso es construir el modelo en 3D en el ordenador (ver figura 4.13), mediante el programa de diseño Solid Edge, copiando la posición de conducción obtenida del modelo real.

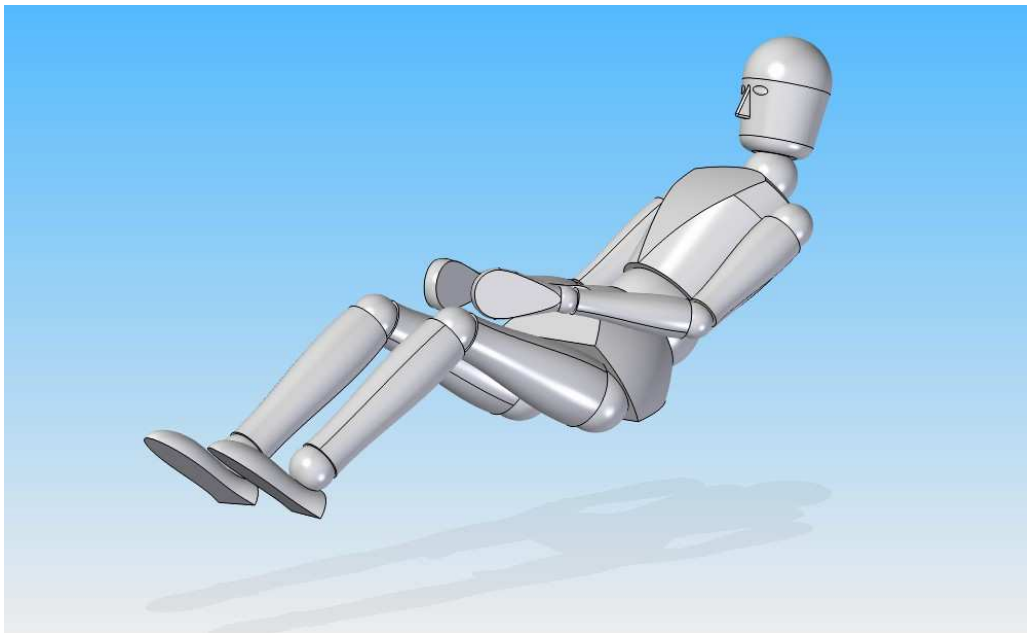


Figura 4.13 Modelo 3D del piloto

Del modelo creado, se obtienen con facilidad los planos en las vistas necesarias (ver figura 4.14), de los que se extraen más adelante las medidas que definirán las dimensiones del bastidor.

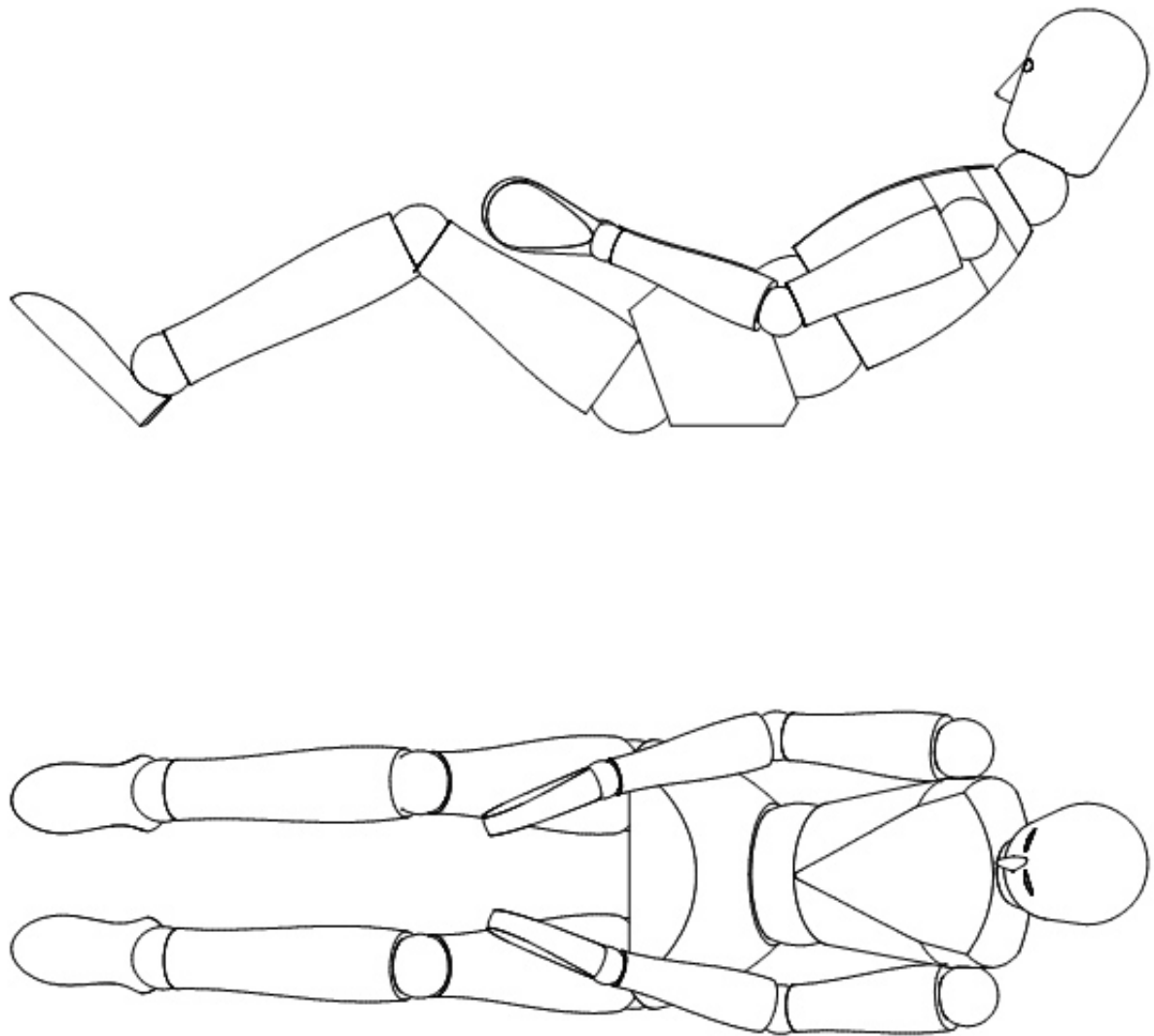


Figura 4.14 Planos del piloto

4.4.3.- Dimensiones del piloto

Gracias al módulo de planos de Solid Edge, se obtienen del modelo en 3D del piloto todas las medidas necesarias para el dimensionado del habitáculo. Como se observa en la figura 4.15 la altura mínima de la rodilla es de 198,94 mm. Dicha distancia se definió en el momento de situar el modelo para prefijar la postura de conducción que, en el

punto situado por debajo de las rodillas del piloto, superara los **180 mm** de altura, y así proporciona el espacio necesario para el eje delantero.

La distancia desde el eje delantero hasta el final de los pies del piloto es de 538,85 mm. Estableciendo un pequeño margen para los elementos que se puedan montar, como pedales o reposapiés, la distancia entre el eje delantero y el extremo delantero del prototipo será de **600 mm**.

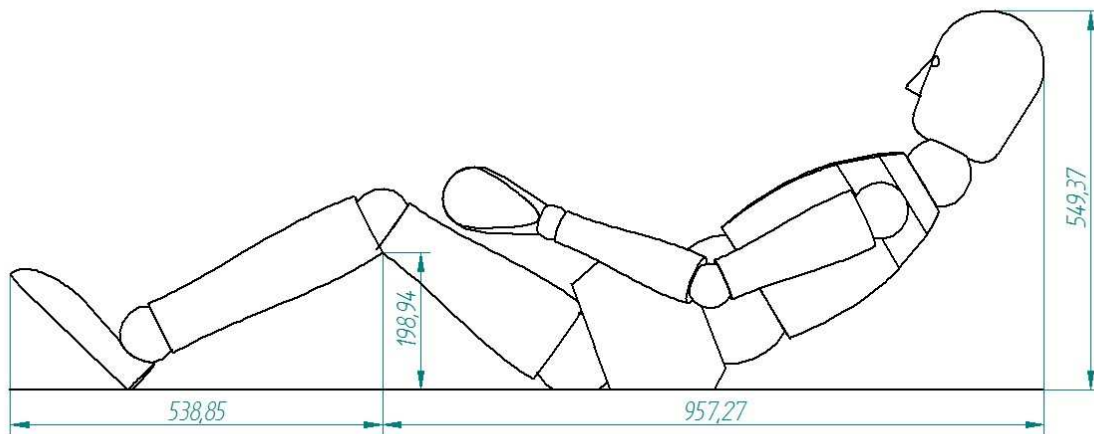


Figura 4.15 Dimensiones posición del piloto 1

Por otra parte, la distancia del eje delantero al extremo posterior de la cabeza es de 957,27 mm. En esta zona, los elementos a montar son de mayor tamaño que en el caso de la zona frontal, situándose por ejemplo la mampara de protección, el reposacabezas o el casco del piloto. Así, la distancia del eje delantero al final de la parte trasera será de **1100 mm**.

La altura total del piloto en la postura de conducción es de 549,37 mm, y según se indicó anteriormente, es necesario mantener un margen de seguridad de 50 mm entre la cabeza del piloto y la barra antivuelco, por lo que el extremo inferior de la barra antivuelco tendrá una altura de **600 mm**.

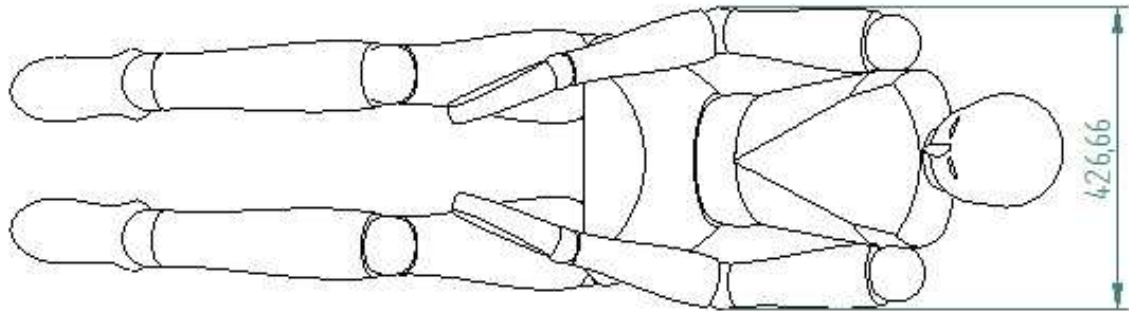


Figura 4.16 Dimensiones posición del piloto 2

El ancho máximo del cuerpo del piloto en la postura de conducción alcanza los 426,66 mm (ver figura 4.16), por lo que, por razones de movilidad de los brazos, la distancia mínima entre los perfiles que forman los laterales del bastidor será de **500 mm**.

La determinación de las medidas mencionadas en este apartado permite obtener la figura 4.17, donde se puede ver la disposición de los elementos del bastidor que impone la postura del piloto.

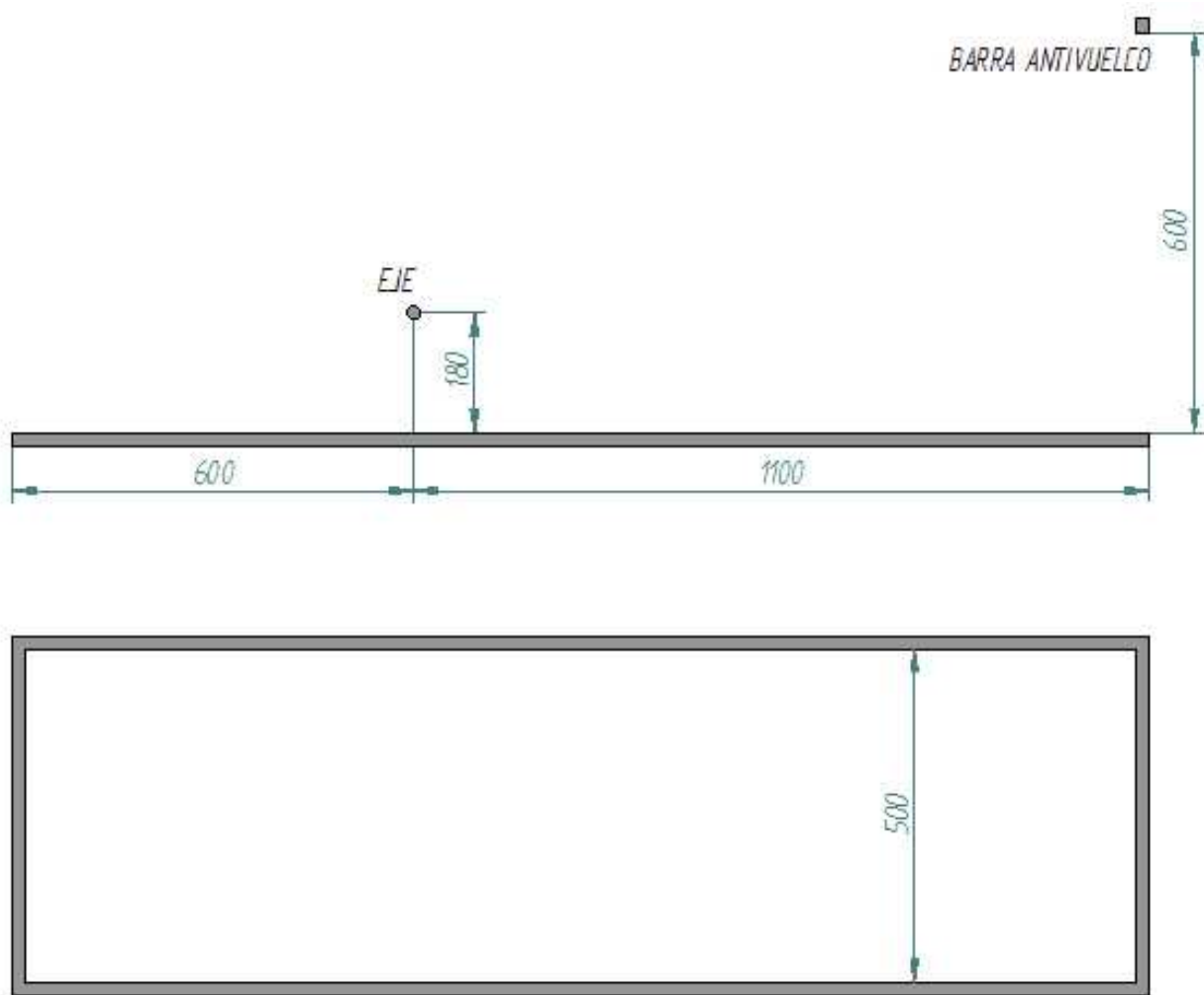


Figura 4.17 Dimensiones principales del bastidor

4.4.4.- Distribución de masas del piloto

Éste es el aspecto más complicado del estudio sobre la postura de conducción. Averiguar con exactitud el peso de cada una de las partes del cuerpo del piloto supone una tarea difícil y es necesario realizarla con una alta precisión para obtener resultados fiables.

Dado que no se ha seleccionado el piloto definitivo del prototipo, no resulta práctico efectuar ensayos a fin de obtener los pesos de un modelo real. Como solución para

obtener los resultados necesarios, se emplean tablas obtenidas de estudios antropométricos, que muestran los datos de masas y longitudes de los segmentos del cuerpo humano, calculadas como media de la población adulta [17].

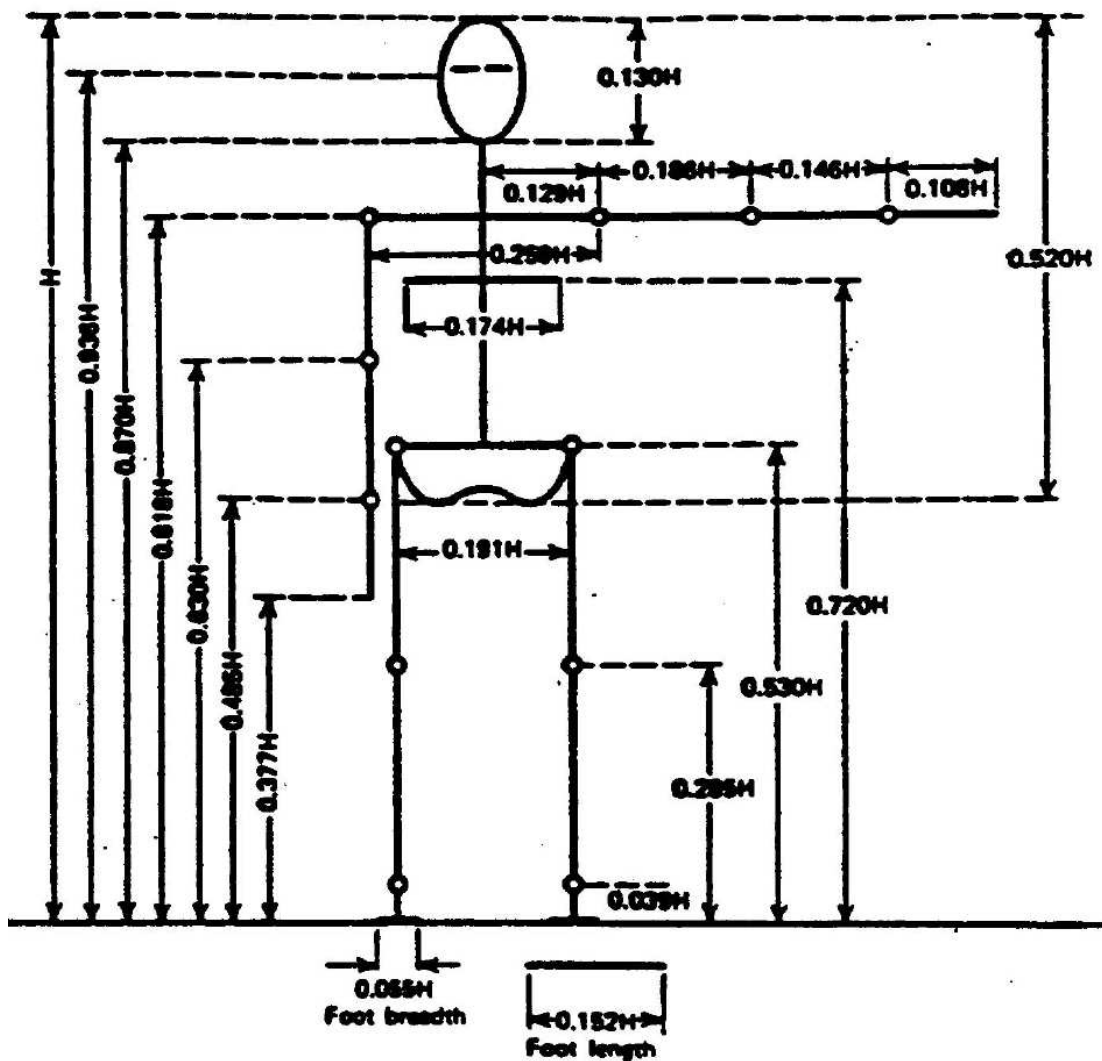


Figura 4.18 Longitudes de los segmentos del cuerpo humano [17]

SEGMENTO	DEFINICIÓN	PESO, SEGMENTO (N)	CENTROMASA, LONGITUD, SEGMENTO (N)	RADIO DE GIRO, LONGITUD, SEGMENTO (N)	DENSIDAD (N)
		PESO TOTAL CUERPO	PROXIMAL	PROXIMAL	DISTAL
MANO	Eje muñeca/Nudillo II del dedo corazón	0.006 M	0.506	0.494 P	0.297 0.587 0.577 M 1.16
ANTEBRAZO	Eje codo/Apófisis estiloides del cúbito	0.016 M	0.43	0.570 P	0.303 0.526 0.647 M 1.13
BRAZO	Cabeza del húmero/ Eje codo	0.028 M	0.436	0.564 P	0.322 0.542 0.645 M 1.07
ANTEBRAZO Y MANO	Eje codo/Apófisis estiloides del cúbito	0.022 M	0.682	0.318 P	0.468 0.827 0.565 P 1.14
TODO EL BRAZO	Cabeza del húmero/ Apófisis estiloides del cúbito	0.050 M	0.53	0.470 P	0.368 0.645 0.595 P 1.11
PIE	Malleolo externo/Cabeza metatarso II	0.0145 M	0.5	0.50 P	0.475 0.69 0.69 P 1.1
PIERNA	Condilo femoral/Malleolo medio	0.0465 M	0.433	0.567 P	0.302 0.528 0.643 M 1.09
MUSLO	Gran trocánter/Condilo femoral	0.100 M	0.433	0.567 P	0.323 0.54 0.653 M 1.05
PIE Y PIERNA	Condilo femoral/Malleolo medio	0.061 M	0.606	0.394 P	0.416 0.735 0.572 P 1.09
TODA LA PIERNA	Gran trocánter/Malleolo medio	0.161 M	0.447	0.553 P	0.326 0.56 0.650 P 1.06
CABEZA Y CUELLO	C7-T1 y primera costilla/Canal del oído	0.081 M	1	- PC	0.495 1.116 - 1.11
HOMBROS	Unión clavícula- esternón/ Cabeza del húmero	-	0.172	0.288	- - - 1.04
TÓRAX	C-7-T-1/T-12-L1 y diafragma*	0.216 PC	0.82	0.18	- - - 0.92
ABDOMEN	T1-2/L1/L4-L5*	0.139 LC	0.44	0.56	- - - -
PELVIS	L4-L5/Trocánter mayor*	0.142 LC	0.105	0.895	- - - -
TÓRAX Y ABDOMEN	C7-T1/L4-L5*	0.355 LC	0.63	0.37	- - - -
ABDOMEN Y PELVIS	T12-L1/Trocánter mayor	0.281 PC	0.27	0.73	- - - 1.01
TRONCO	Gran trocánter/Cabeza del húmero*	0.497 M	0.5	0.5	- - - 1.03
TRONCO, CABEZA, CUELLO	Gran trocánter/Cabeza del húmero*	0.578 MC	0.66	0.34 P	0.503 0.83 0.607 M -
HAT	Gran trocánter/Cabeza del húmero*	0.678 MC	0.626	0.374 PC	0.496 0.798 0.621 PC =
HAT	Gran trocánter/Miada de las costillas	0.678	1.142	-	0.903 1.456 -

NOTA: Los segmentos * se presentan relativos a la longitud entre el trocánter mayor y la cabeza superior del húmero.

Tabla 4.1 Datos antropométricos [17]

Empleando la información que proporciona la tabla 4.1, la figura 4.18, y la masa y altura del modelo referido, **54 kg** y **1640 mm** respectivamente, se obtiene la masa de cada segmento del cuerpo, su longitud y la posición de su centro de masa, que se reflejan en la tabla 4.2.

Segmento	Masa	Longitud	Posición CDM (distal)
Pie	0,783	249,28	124,64
Pierna	2,511	403,44	228,5
Muslo	5,4	401,8	227,82
Cabeza y cuello	4,374	298,48	No definida
Mano	0,324	177,12	87,49
Antebrazo	0,864	239,44	136,48
Brazo	1,512	305,04	172,04
Tronco	38,232	472,32	236,16

Tabla 4.2 Masa, longitud y posición del CDM de cada segmento del cuerpo del piloto

Después de comprobar que, efectivamente, las longitudes de cada segmento, obtenidas de la tabla, coinciden con las del plano del modelo en 3D, se colocan los centros de masa de cada segmento sobre el plano del modelo, en posición de conducción, tomando la distancia de cada centro de masa a su extremo distal y centrándolos en dirección transversal al segmento (ver figura 4.19).

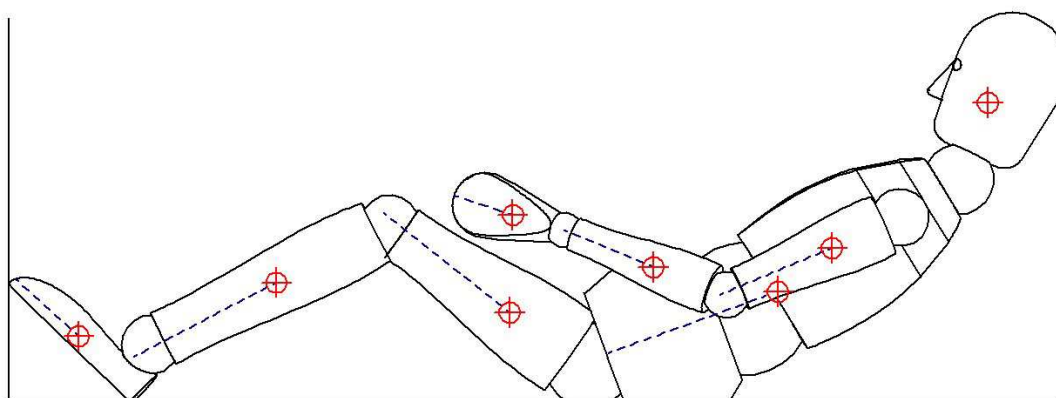


Figura 4.19 Posicionamiento CDM segmentos

Una vez situados los centros de masa de cada segmento, se puede acotar su posición con respecto al extremo inferior izquierdo de la figura 4.20.

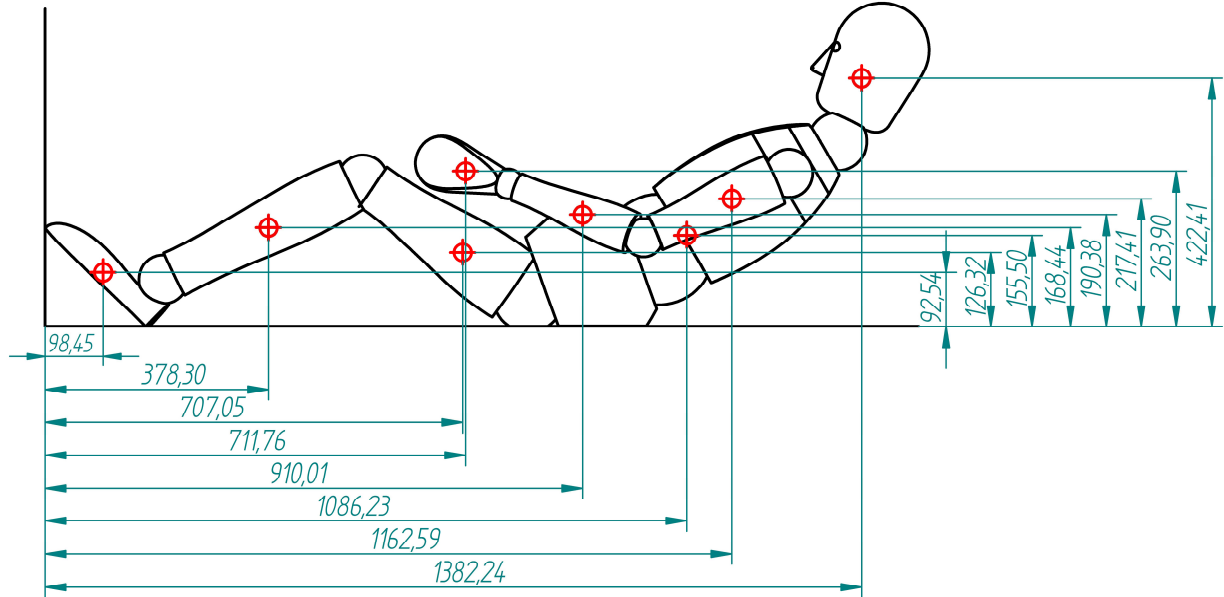


Figura 4.20 Posiciones CDM segmentos

Obtenida la posición de cada uno de los centros de masa, se puede calcular la situación del centro de masa total del cuerpo del piloto según las ecuaciones 4.1 y 4.2, de las que se obtiene la posición del centro de masas de un cuerpo según el eje x y según el eje y respectivamente.

$$CDM_x = \frac{\sum (masa_{segmento} \times x_{CDMsegmento})}{masa_{total}}$$

Ecuación 4.1

$$CDM_y = \frac{\sum (masa_{segmento} \times y_{CDMsegmento})}{masa_{total}}$$

Ecuación 4.2

Donde:

- $masa_{segmento}$ es la masa de cada uno de los segmentos definida en la tabla.
- $x_{CDMsegmento}$ es la posición del centro de masa del segmento según el eje x .

- $y_{CDM_{segmento}}$ es la posición del centro de masa del segmento según el eje x.
- $masa_{total}$ es la masa total del cuerpo.

En la tabla 4.3, se calcula la posición del centro de masas del piloto según las ecuaciones 4.1 y 4.2, con los datos de las posiciones de los centros de masa de los distintos segmentos obtenidos de la figura 4.20, y las masas de la tabla 4.2.

Segmento	$masa_{segmento}$	x_{CDM}	y_{CDM}	$masa_{segmento} \cdot x_{CDM}$	$masa_{segmento} \cdot y_{CDM}$
Pie	0,783	98,5	92,54	77,1255	72,45882
Pierna	2,511	378,3	168,44	949,9113	422,9528
Muslo	5,4	707,05	126,32	3818,07	682,128
Cabeza y cuello	4,374	1382,24	422,41	6045,918	1847,621
Mano	0,324	711,76	263,9	230,6102	85,5036
Antebrazo	0,864	910,01	190,38	786,2486	164,4883
Brazo	1,512	1162,59	217,41	1757,836	328,7239
Tronco	38,232	1086,23	155,5	41528,75	5945,076
Suma	54			55194,46	9548,953
CDM_x	$\sum(masa_{segmento} \cdot x_{CDM}) / \sum masa_{segmento}$			1022 mm	
CDM_y	$\sum(masa_{segmento} \cdot y_{CDM}) / \sum masa_{segmento}$			177 mm	

Tabla 4.3 Cálculo de la posición del centro de masas del piloto en x e y

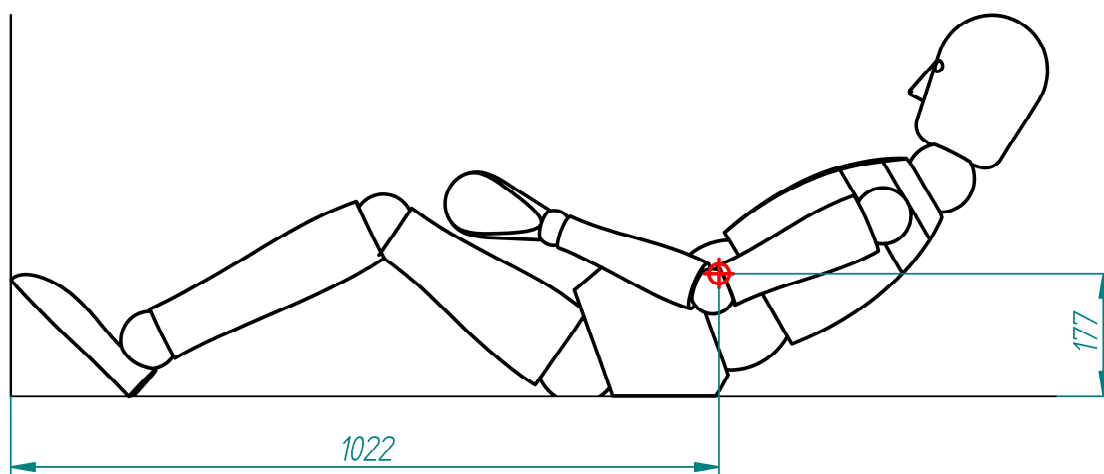


Figura 4.21 CDM piloto

La posición obtenida, para el centro de gravedad del piloto en postura de conducción, es **1022 mm** en x y **177 mm** en y , la cual se refleja en la figura 4.21.

4.4.5.- Distribución de cargas sobre el bastidor

El principal efecto del piloto sobre la estructura del bastidor es la fuerza que ejerce su peso, por tanto es ineludible hacer un análisis, lo más preciso posible, del reparto de cargas que se produce sobre la estructura.

El estudio de la distribución del peso del piloto se efectúa dividiendo su cuerpo en dos mitades (figura 4.22). En una de ellas se incluyen las piernas, donde se consideran puntos de apoyo los talones y el trocánter mayor (extremo proximal del fémur). En la otra mitad se encuentra el resto del cuerpo, y puesto que el piloto está apoyado en esta zona sobre un asiento, éste produce zonas con diferentes presiones a lo largo de su proyección sobre las vigas inferiores de la estructura.

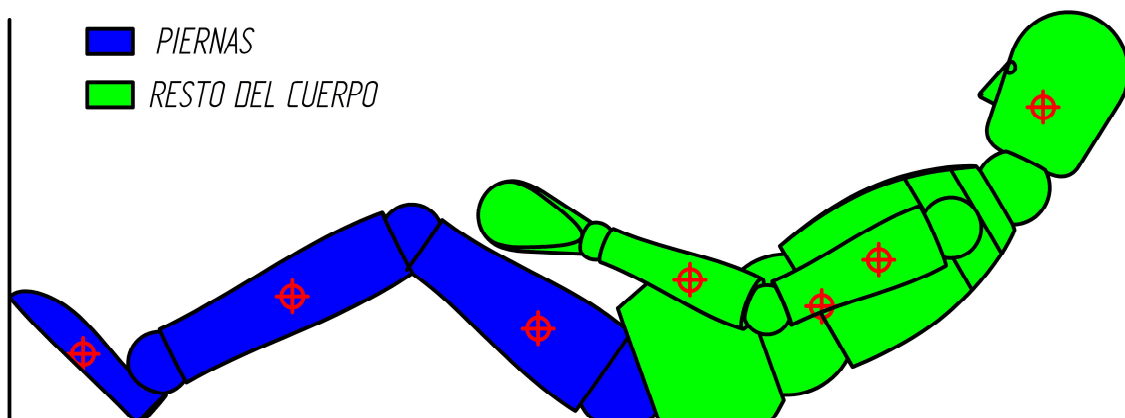


Figura 4.22 División del cuerpo del piloto

El cálculo de las cargas que produce cada una de las partes del piloto se realiza por separado ya que, como el piloto permanece apoyado en el asiento y debe mantener una postura relajada, se puede suponer que no se transmiten cargas entre ambas partes.

4.4.5.1.- Distribución de cargas de las piernas del piloto sobre el bastidor

El primer paso, para el cálculo de la distribución de cargas que generan las piernas sobre el bastidor, es conocer la posición sobre el eje x del centro de masa de las piernas del piloto. Para ello se emplea la ecuación 4.1 con los datos de masas y posiciones de centros de masas proporcionados por la tabla 4.2 y la figura 4.20.

Segmento	$masa_{segmento}$	x_{CDM}	$masa_{segmento} \cdot x_{CDM}$
Pie	0,783	98,5	77,1255
Pierna	2,511	378,3	949,9113
Muslo	5,4	707,05	3818,07
Suma	8,7		4845,11
CDM_x	$\sum(masa_{segmento} \cdot x_{CDM}) / \sum masa_{segmento}$		557 mm

Tabla 4.4 Cálculo de la posición del centro de masa de las piernas del piloto

Como se aprecia en la tabla 4.4, la posición del centro de masa de las piernas del piloto en la postura de conducción es **557 mm** sobre el eje x . Para el cálculo de la distribución de cargas que provocan las piernas del piloto no es necesario conocer la posición en y del centro de masa, por lo que no se calcula.

El siguiente paso es averiguar la fuerza de reacción en el talón y en el trocánter mayor, para lo cual se plantea un diagrama de fuerzas verticales donde, como se aprecia en la figura 4.23, aparecen la fuerza provocada por el peso de las piernas del piloto, situada

en su centro de masa, la fuerza de reacción en el talón (punto A) y la fuerza de reacción en el trocánter mayor (punto B).

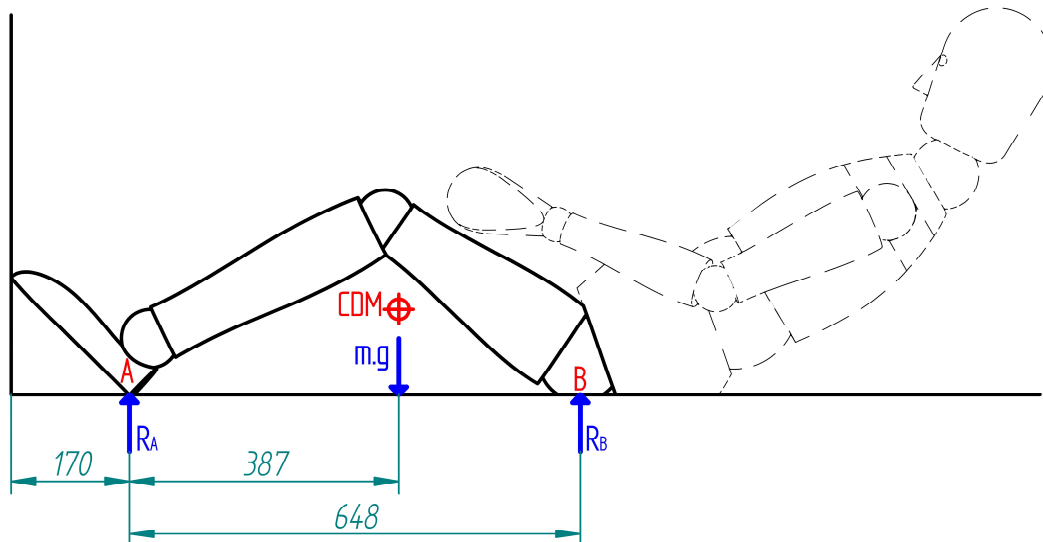


Figura 4.23 Diagrama de fuerzas en las piernas

El peso de las piernas del piloto es de **85,3 N**, tomando la gravedad como $9,8\text{m/s}^2$ y una masa para las piernas del piloto de 8,7 kg, obtenida de la suma de las masas de los segmentos de las piernas reflejada en la tabla 4.4.

Tratando las piernas como un sistema rígido, se desprecian las fuerzas horizontales y, planteando el equilibrio de momentos respecto del punto A, se obtienen la siguiente ecuación, de la que se despeja la reacción en el punto B:

$$\vec{d}_{A-P} \cdot \vec{P} + \vec{d}_{A-B} \cdot \vec{R}_B = 0$$

Ecuación 4.3

Donde:

- \vec{d}_{i-j} es el vector distancia del punto i al punto j, tomando las distancias reflejadas en la figura 4.23.
- \vec{P} es el vector peso de las piernas.

- \vec{R}_k es el vector fuerza resultante en el punto k.

Empleando el peso de las piernas del piloto calculado y las distancias que aparecen en la figura 4.23, en la ecuación 4.3 se obtiene una reacción en el punto B de **50,9 N**.

Para obtener la reacción en el punto B, basta con calcular el sumatorio de fuerzas verticales del sistema e igualarlo a cero, con lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$\vec{R}_A + \vec{R}_B + \vec{P} = 0$$

Ecuación 4.4

Donde:

- \vec{P} es el vector peso de las piernas.
- \vec{R}_k es el vector fuerza resultante en el punto k.

Contando con el peso de las piernas del piloto calculado y la reacción obtenida en el punto B, se consigue, mediante la ecuación 4.4 una reacción en el punto A de **34,3 N**.

Finalmente, los valores que se obtienen para las fuerzas ejercidas por el peso de las piernas del piloto sobre la estructura son **34,3 N**, para el punto situado en los talones y **50,9 N**, en el trocánter mayor. No obstante, estas fuerzas no se producen en un punto, llegan al suelo del prototipo en forma de presión distribuida sobre la zona de contacto, y desde esta posición, se propagan hasta las vigas laterales inferiores de la estructura. Por consiguiente, es necesario establecer una zona de presión sobre dichas vigas, que tiene por ancho el del perfil de las vigas laterales inferiores de la estructura, un largo que se establece para cada zona y una presión uniforme equivalente a la fuerza de reacción correspondiente.

Para la zona definida como apoyo A, se aplica una fuerza total de 34,3 N, que es el peso correspondiente a dicho apoyo. La longitud sobre la que se distribuye la fuerza se fija en 100 mm, por lo que, teniendo en cuenta que este apoyo se encuentra a 231 mm del extremo delantero del bastidor, que cuenta con las medidas mostradas en la figura 4.17, la posición inicial de esta zona se encuentra a 181 mm del extremo delantero del bastidor y su posición final a 281 mm. Con estos datos, la carga por unidad de longitud para el apoyo A es de $34,3/100 = 0,343$ N/mm. En la tabla 4.5 se muestra un resumen de los datos del apoyo A.

Apoyo A	
Posición	231 mm
Longitud	100 mm
Punto inicial	181 mm
Punto final	281 mm
Fuerza	34,3 N
Fuerza/Longitud	0,343 N/mm

Tabla 4.5 Datos del apoyo A

Para el apoyo B se aplica una fuerza total de 50,9 N, por ser el peso que corresponde a esta zona. La longitud sobre la que se distribuye dicha fuerza se establece en 150 mm, por lo que, teniendo en cuenta que este apoyo se encuentra a 879 mm del extremo delantero del bastidor que cuenta con las medidas mostradas en la figura 4.17, su posición inicial está a 804 mm del extremo delantero del bastidor y su posición final a 954 mm. Con estos datos, la carga por unidad de longitud para el apoyo B es de $50,9/150 = 0,339$ N/mm. En la tabla 4.6 se muestra un resumen de los datos del apoyo B.

Apoyo B	
Posición	879 mm
Longitud	150 mm
Punto inicial	804 mm
Punto final	954 mm
Fuerza	50,9 N
Fuerza/Longitud	0,339 N/mm

Tabla 4.6 Datos del apoyo B

Las cargas sobre el bastidor a causa del peso de las piernas del piloto quedan finalmente como se puede ver en la figura 4.24, donde están reflejadas las fuerzas por unidad de longitud en cada apoyo, así como la superficie sobre la que se extienden dichas fuerzas.

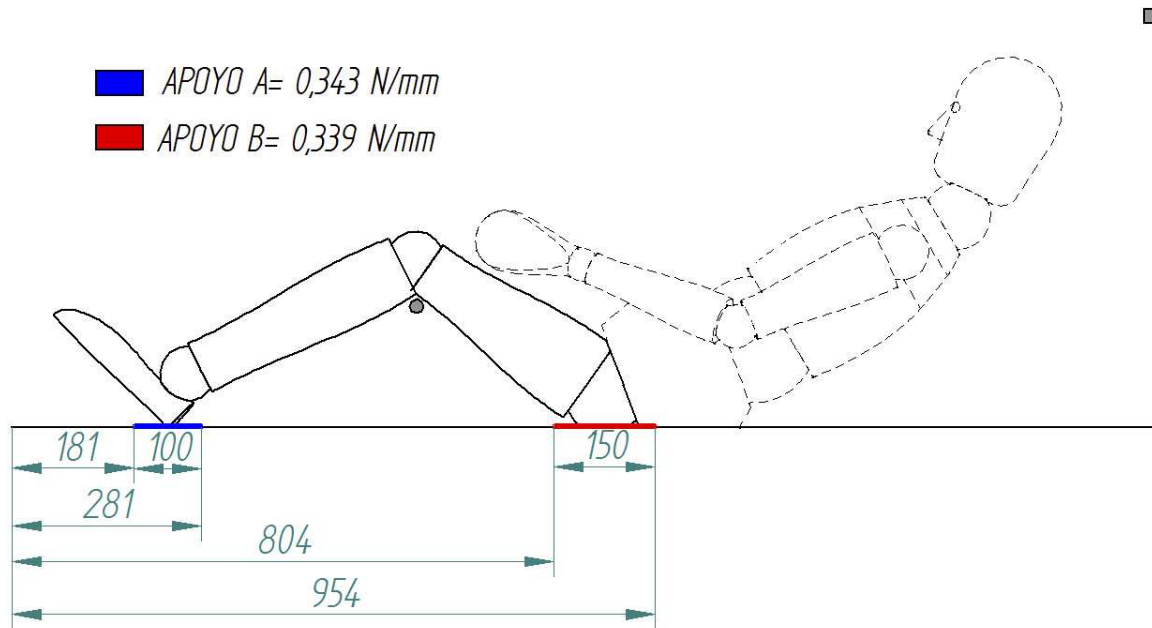


Figura 4.24 Apoyos A y B

4.4.5.2.- Distribución de cargas del resto del cuerpo del piloto sobre el bastidor

El primer paso, para el cálculo de la distribución de cargas que genera el resto del cuerpo sobre el bastidor, es conocer la posición sobre el eje x del centro de masa del resto del cuerpo del piloto. Para ello se emplea la ecuación 4.1 con los datos de masas y posiciones de centros de masas proporcionados por la tabla 4.2 y la figura 4.20.

Segmento	$masa_{segmento}$	x_{CDM}	$masa_{segmento} \cdot x_{CDM}$
Cabeza y cuello	4,374	1382,24	6045,91776
Mano	0,324	711,76	230,61024
Antebrazo	0,864	910,01	786,24864
Brazo	1,512	1162,59	1757,83608
Tronco	38,232	1086,23	41528,74536
Cabeza y cuello	4,374	1382,24	6045,91776
Suma	45,3		56395,27
CDM_x	$\sum(masa_{segmento} \cdot x_{CDM}) / \sum masa_{segmento}$		1111 mm

Tabla 4.7 Cálculo de la posición del centro de masa del resto del cuerpo del piloto

Como se aprecia en la tabla 4.7, la posición del centro de masa del resto del cuerpo del piloto en la postura de conducción es **1111 mm** sobre el eje x . Al igual que en el caso de las piernas, para el cálculo de la distribución de cargas que provoca el resto del cuerpo del piloto, no es necesario conocer la posición en y del centro de masa, y por lo tanto, no se calcula.

El peso que ejerce el resto del cuerpo del piloto sobre la estructura se distribuye a lo largo de su proyección sobre las vigas laterales inferiores del bastidor, en lo que se denomina apoyo C. En la figura 4.25 se puede ver la posición del apoyo C y del centro de gravedad del resto del cuerpo, respecto al extremo delantero de la estructura.

El apoyo C tiene una longitud considerable, por esa razón se divide en tres zonas, para manejar un caso más realista y a la vez más desfavorable para la estructura. Dichas zonas se nombran como C_1 , C_2 y C_3 .

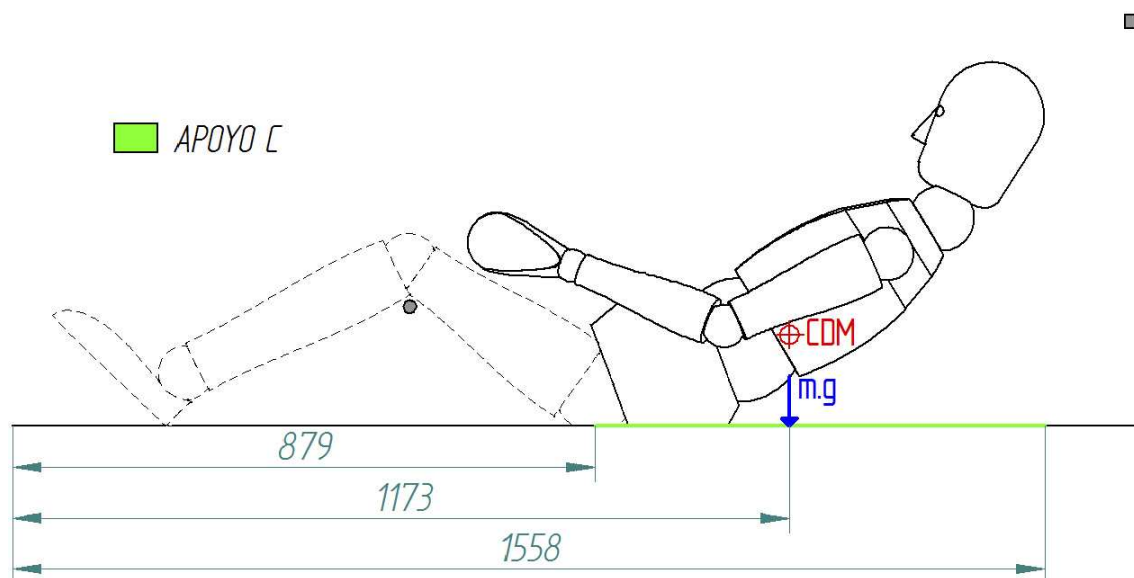


Figura 4.25 Apoyo C

Para el cálculo del peso que ejerce el resto del cuerpo del piloto se toma una gravedad de $9,8\text{m/s}^2$ y una masa para el resto del cuerpo de $45,3\text{ kg}$, obtenida de la suma de las masas de los segmentos de las piernas reflejada en la tabla 4.7. El peso total resultante es de $m.g = 443,9\text{ N}$.

El apoyo C_2 se sitúa en la zona central del apoyo C y soporta una fuerza de 222 N , que es aproximadamente la mitad de la fuerza total del apoyo C. Su longitud se establece en 300 mm y su centro se sitúa en la posición del centro de masa del resto del cuerpo, por lo que sus puntos inicial y final se encuentran a 1023 mm y 1323 mm del extremo delantero del bastidor respectivamente. En la tabla 4.8 se muestran los datos del apoyo C_2 .

Apoyo C_2	
Posición	1173 mm
Longitud	300 mm
Punto inicial	1023 mm
Punto final	1323 mm
Fuerza	222,0 N
Fuerza/Longitud	0,740 N/mm

Tabla 4.8 Datos del apoyo C_2

La posición y longitud de los apoyos C_1 y C_3 viene condicionada por las del apoyo C_2 , ya que ocupan el espacio sobrante dentro del apoyo C . De esta forma, los puntos inicial y final del apoyo C_1 se sitúan a 879 mm y 1023 mm del extremo delantero del bastidor respectivamente, obteniendo así una longitud de 144 mm. Para el apoyo C_3 , sus puntos inicial y final se encuentran a 1323 mm y 1558 mm respectivamente, consiguiendo una longitud de 235 mm.

Para definir las cargas en los apoyos C_1 y C_3 , es necesario analizar el conjunto de cargas en el apoyo C , ya que su resultante tiene que ser la misma, y con la misma posición, que la del peso del centro de masa del resto del cuerpo.

La suma de las fuerzas que ejercen los apoyos C_1 , C_2 y C_3 ha de ser la misma que el peso total del resto del cuerpo, cuyo valor es 443,9 N. Por ello, sabiendo que la fuerza que ejerce el apoyo C_2 es de 222,0 N, el valor de la suma de las fuerzas en los apoyos C_1 y C_3 ha de ser $443,9 \text{ N} - 222,0 \text{ N} = 221,9 \text{ N}$, lo cual queda expresado en la siguiente ecuación:

$$F_{C_1} + F_{C_3} = 221,9 \text{ N}$$

Ecuación 4.5

Para conocer la fuerza aplicada en cada uno de los apoyos citados, basta con calcular el sumatorio de momentos respecto a la posición del centro de masa del resto del cuerpo e igualarlo a cero, considerando las fuerzas de los apoyos C_1 y C_3 aplicadas en sus centros, cuyas posiciones se indican en la figura 4.26. El sumatorio de momentos en el centro de masa del resto del cuerpo se muestra en la siguiente ecuación:

$$\vec{d}_{CDM-C_1} \cdot \vec{F}_{C_1} + \vec{d}_{CDM-C_3} \cdot \vec{F}_{C_3} = 0$$

Ecuación 4.6

Donde :

- F_i es la fuerza aplicada en el apoyo i .

- \vec{d}_{A-B} es el vector distancia de A a B.

■ APOYO C_1 ■ APOYO C_2 ■ APOYO C_3

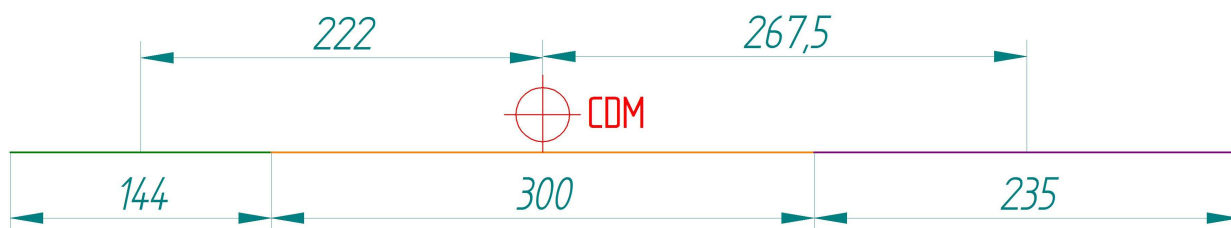


Figura 4.26 Posición de los centros de los apoyos C_1 , C_2 y C_3

Resolviendo el sistema formado por las ecuaciones 4.5 y 4.6, se obtienen las fuerzas aplicadas en los apoyos C_1 y C_3 , cuyos valores son **121,3 N** y **100,6 N** respectivamente. En las tablas 4.9 y 4.10 se muestran, a modo de resumen, los datos de los apoyos C_1 y C_3 .

Apoyo C_1	
Posición	951 mm
Longitud	144 mm
Punto inicial	879 mm
Punto final	1023 mm
Fuerza	121,3 N
Fuerza/Longitud	0,842 N/mm

Tabla 4.9 Datos del apoyo C_1

Apoyo C_3	
Posición	1440 mm
Longitud	235 mm
Punto inicial	1323 mm
Punto final	1558 mm
Fuerza	100,6 N
Fuerza/Longitud	0,428 N/mm

Tabla 4.10 Datos del apoyo C_3

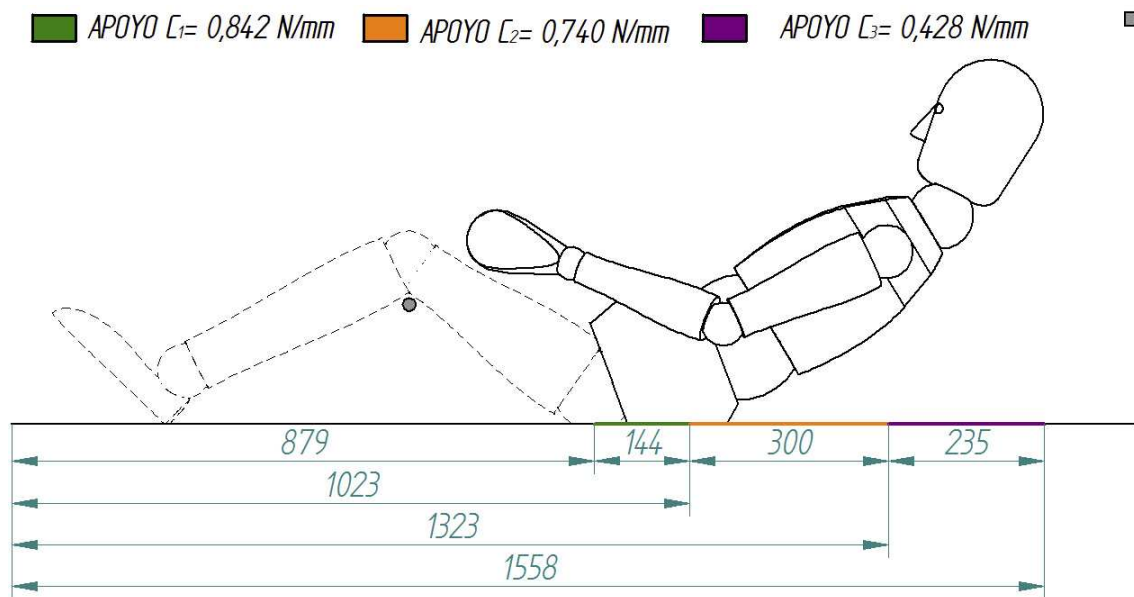


Figura 4.27 Apoyos C_1 , C_2 y C_3

Finalmente, se muestran en la figura 4.27 una imagen del piloto sobre el bastidor, junto a las posiciones de los apoyos C_1 , C_2 y C_3 y los valores de las cargas lineales aplicadas en cada uno.

4.5.- Dinámica del prototipo

Durante el diseño del prototipo, es necesario considerar los esfuerzos provocados por las aceleraciones a las que estará sometido durante la competición. Para ello, se analiza a continuación la dinámica longitudinal y lateral del vehículo.

4.5.1.- Dinámica longitudinal

Dentro del estudio de la dinámica longitudinal del prototipo, se plantean dos casos para el análisis de las cargas sobre el bastidor: la máxima aceleración provocada por el motor y la máxima deceleración que pueden ejercer los frenos.

4.5.1.1.- Aceleración

Durante la aceleración surgen, en cualquier vehículo, fuerzas de inercia con la misma dirección y sentido contrario que el vector aceleración en cada momento. En vehículos de ruedas con dos ejes, dichas fuerzas producen una transferencia de carga hacia el eje trasero debido al par que generan, por situarse el centro de masas, a una altura distinta de cero [10]. Este par es absorbido por las reacciones en las ruedas, así, en el caso de sufrir aceleración, se produce un aumento de carga en el eje trasero, y a la par, una disminución de carga en el eje delantero. En la figura 4.28 se muestra el diagrama de fuerzas que ilustra la situación descrita, donde aparecen la fuerza de inercia aplicada en el centro de masa del vehículo y las reacciones verticales que provoca dicha fuerza en las ruedas.

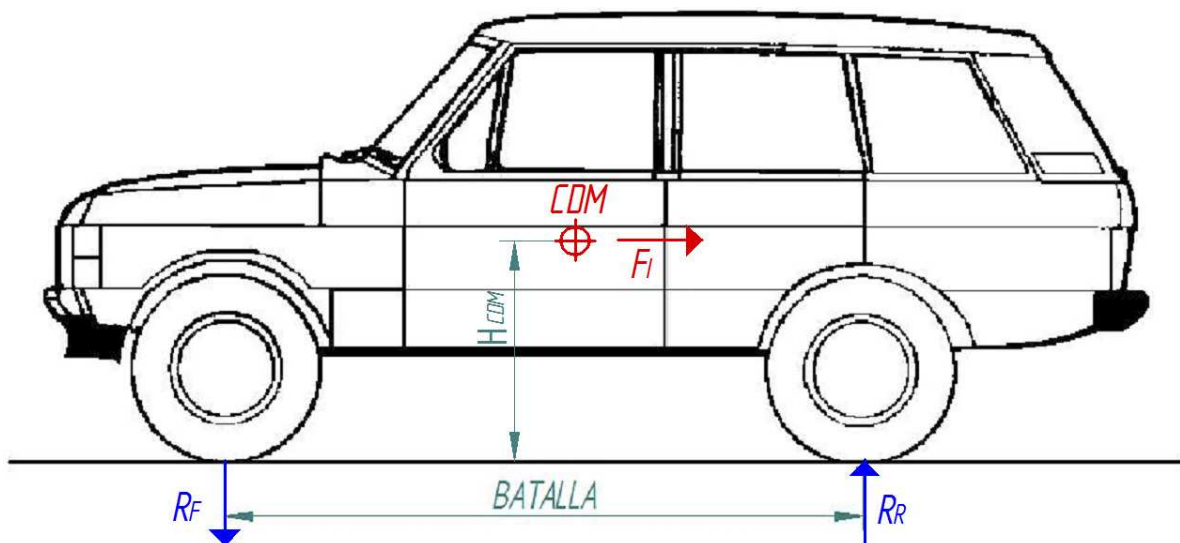


Figura 4.28 Diagrama de fuerzas en aceleración

Como se ha comentado, la aceleración del prototipo reduce la carga que soporta el eje delantero, provocando una situación favorable para la parte delantera del bastidor. En consecuencia, y puesto que para el estudio de la resistencia del bastidor delantero se buscan las situaciones más desfavorables, no se considera la situación del prototipo en aceleración.

4.5.1.2.- Deceleración

Durante la deceleración o frenado, ocurre lo contrario que en la aceleración. En esta circunstancia el sentido de las fuerzas de inercia es el contrario, y por tanto aumentan las fuerzas de reacción en el eje delantero. Se produce entonces una situación desfavorable que es necesario considerar, dado que aumentan las tensiones máximas que se pueden llegar a generar en la parte delantera del bastidor.

Para analizar las tensiones producidas por efecto del frenado es necesario, primero, conocer la máxima deceleración que puede sufrir el prototipo. Y dado que no se conocen datos exactos de adherencia de los neumáticos sobre la pista de la competición, parece más conveniente emplear la fuerza de frenado equivalente a la que se produce en la prueba descrita en el artículo 40 de la normativa de la competición.

En la citada prueba, se examina la eficacia de frenado posicionando el prototipo sobre una rampa, con una pendiente del 20%, en la que este debe permanecer inmóvil, empleando por separado cada uno de los sistemas de frenado.

La principal diferencia con una situación real de frenado es que, en la prueba estipulada en la normativa, las zapatas o discos del sistema de frenado están en una situación de fricción estática, y por consiguiente, su fuerza será algo mayor a la que ejercen en movimiento. No obstante, es una buena aproximación al valor de la fuerza de frenado en movimiento.

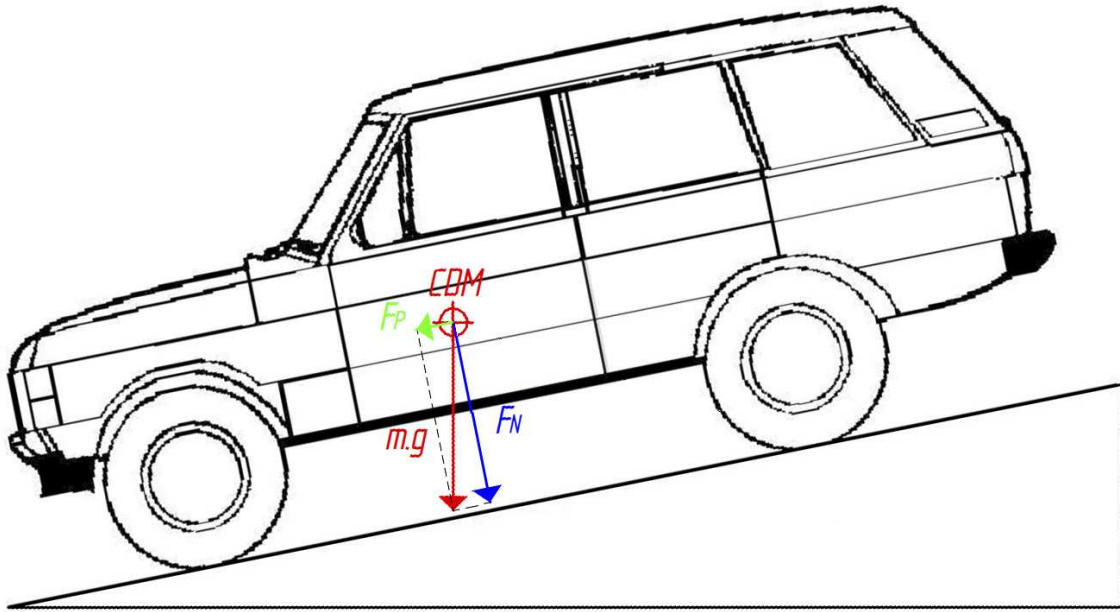


Figura 4.29 Situación de la prueba de frenado

Con objeto de averiguar la fuerza de frenado que ejercen los sistemas de frenado del prototipo durante la prueba, se plantea el diagrama de fuerzas de la figura 4.29, donde aparece el peso del prototipo y su descomposición según los ejes perpendicular y paralelo al plano de la pendiente. Y es precisamente esta última componente, paralela a la pendiente, la que equivale a la fuerza de frenado de cada uno de los sistemas de frenado, puesto que ésta es la fuerza que deben soportar durante la prueba. Dicha componente se expresa, en función del ángulo de la pendiente α , la masa del vehículo m y la aceleración de la gravedad g , en la siguiente ecuación:

$$F_p = m.g.\text{sen}\alpha$$

Ecuación 4.7

Por otro lado, la fuerza de frenado que actúa sobre el prototipo se expresa en la siguiente ecuación, en función de la masa del mismo y de la aceleración provocada:

$$F_F = m.a$$

Ecuación 4.8

Igualando la fuerza de frenado en la prueba, expresada en la ecuación 4.7, con la mitad de la fuerza de frenado en movimiento, de la ecuación 4.8, que es la fuerza que ejerce uno solo de los dos sistemas de frenado, se consigue despejar en la siguiente ecuación la aceleración que producen en el prototipo los dos sistemas de frenado actuando conjuntamente:

$$a = 2 \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Ecuación 4.9

Sabiendo que la pendiente de la prueba es del 20%, lo que equivale a un ángulo $\alpha = \arctg\left(\frac{20}{100}\right) = 11,3^\circ$, y con una gravedad de $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, se obtiene mediante la ecuación 4.9 una aceleración negativa, o de frenado de **$3,8 \text{ m/s}^2$** .

El siguiente paso para analizar las tensiones producidas por efecto del frenado es averiguar la fuerza de inercia que se produce sobre cada una de las masas del prototipo a causa de la aceleración obtenida. La mayor masa en el prototipo durante la marcha corresponde al piloto. Además ésta es, entre las que se encuentran en el vehiculo, la que tiene el centro de masa más alto, y puesto que no se tienen datos exactos del resto de masas y posiciones, y por otro lado, sus fuerzas de inercia son despreciables frente a la del piloto, la fuerza provocada por la inercia únicamente se calcula sobre la masa de éste.

Para el cálculo de la transferencia de carga hacia el eje delantero, debida a la fuerza de inercia, se plantea el diagrama de fuerzas de la figura 4.30, donde aparecen la fuerza provocada por la inercia del prototipo y las reacciones normales y tangenciales de las ruedas sobre el suelo.

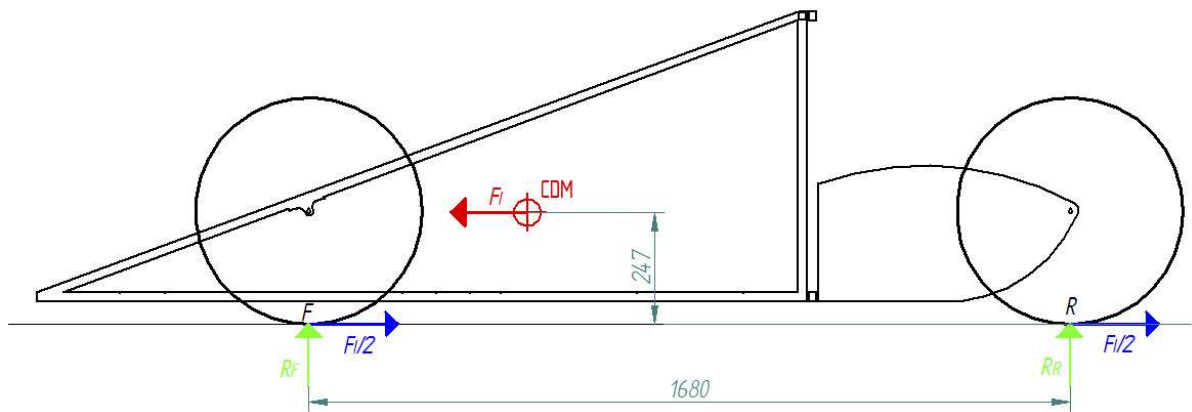


Figura 4.30 Diagrama de fuerzas en deceleración

Para averiguar el valor de la fuerza de reacción vertical en el eje delantero, basta con calcular el sumatorio de momentos respecto del punto R de la figura 4.30 e igualarlo a cero, de donde se obtiene la siguiente ecuación:

$$R_F \cdot d_{R-F} + F_I \cdot h_{CDM} = 0$$

Ecuación 4.10

Donde:

- R_F es la reacción vertical en el eje delantero.
- d_{R-F} es la distancia entre el eje trasero y el delantero.
- F_I es la fuerza de inercia generada en el centro de masa del prototipo.
- h_{CDM} es la altura del centro de masa del prototipo

Con la aceleración obtenida, correspondiente al frenado del prototipo, de $3,8 \text{ m/s}^2$ y la masa del piloto igual a 54 kg , se puede calcular la fuerza de inercia que genera la masa del piloto como $F_I = m \cdot a = 54 \text{ kg} \cdot 3,8 \text{ m/s}^2 = 205,2 \text{ N}$. Introduciendo esta fuerza en la ecuación 4.10, junto con las distancias que aparecen en la figura 4.30, y despejando, se obtiene una reacción vertical en el eje delantero de **30,2 N**.

Dicho aumento de carga en el eje delantero se puede aplicar directamente como una nueva carga en el modelo con el que se simule el bastidor. Sin embargo, sería necesario crear una nueva distribución de cargas, y como no se está trabajando con un alto nivel de precisión, es más fiable tratar el efecto de la transferencia de carga durante el frenado como una mayoración del peso del piloto.

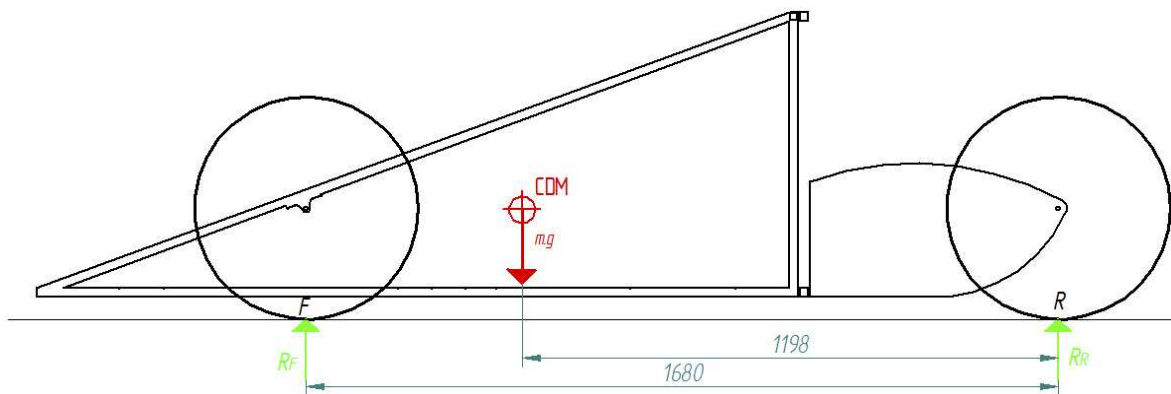


Figura 4.31 Efecto de la transferencia de carga

Para obtener el peso equivalente, en el centro de masas del piloto, que corresponde a esa reacción, se calcula, según el diagrama de fuerzas de la figura 4.31, el sumatorio de momentos en el punto R, expresado en la siguiente ecuación:

$$R_F \cdot d_{R-F} + m_d \cdot g \cdot d_{R-CDM} = 0$$

Ecuación 4.11

Donde:

- R_F es la reacción vertical en el eje delantero.
- d_{R-F} es la distancia entre el eje trasero y el delantero.
- m_d es la masa equivalente a la fuerza de reacción en el eje delantero en deceleración.
- g es la aceleración de la gravedad.
- d_{R-CDM} es la distancia horizontal entre el punto R y el centro de masa.

Contando con la reacción en el eje delantero de 30,2 N, una aceleración de la gravedad de $9,8 \text{ m/s}^2$ y las distancias mostradas en la figura 4.31, se consigue, despejando en la ecuación 4.11, un valor de la masa equivalente a la fuerza de reacción en el eje delantero de **4,3 kg**.

Por último, se determina en tanto por uno, el incremento que supone la mayoración de $m_d = 4,3 \text{ kg}$ sobre la masa del piloto de $m_{\text{piloto}} = 54 \text{ kg}$, con lo que se obtiene un coeficiente de mayoración, para el efecto de la deceleración del prototipo en frenado de $\text{coef}_d = m_d / m_{\text{piloto}} = \mathbf{0,08}$.

4.5.2.- Dinámica lateral.

Para el estudio de la dinámica lateral del prototipo se procede de manera similar a la aplicada en el análisis de la dinámica longitudinal. Es necesario, en primer lugar, conocer las aceleraciones laterales máximas que puede sufrir el vehículo durante la competición, al objeto de analizar los esfuerzos que provocan.

Se emplea para los cálculos una velocidad de **40km/h** y un radio de giro igual a la mitad del radio de la curva con menor radio del circuito, para compensar el efecto de las maniobras que se puedan realizar durante dicha curva.

La curva más pronunciada del circuito EuroSpeedway Lausitz, de Alemania, es la curva número 3, que tiene un radio de giro de 167,056 m. Como se ha comentado, para los cálculos, se emplea la mitad de su radio, resultando un radio de **83,5 m**.

Al igual que en el estudio de la dinámica longitudinal, para el cálculo de las fuerzas de inercia provocadas por las aceleraciones laterales, solamente se tiene en cuenta la masa de **54 kg** del piloto.

La fuerza lateral generada por un giro de radio R , a una velocidad v , sobre una masa m , viene dada por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Ecuación 4.12

De donde se obtiene, contando con un radio de 83,5 m, una velocidad de 11,11 m/s y una masa de 54 kg, una fuerza aplicada en el centro de masa del piloto y sentido transversal de **79,8 N**.

Dicha fuerza, junto a su reacción en el contacto de las ruedas con el suelo, genera un par que transmite carga hacia la rueda de la parte exterior de la curva, tal y como se muestra en la figura 4.32

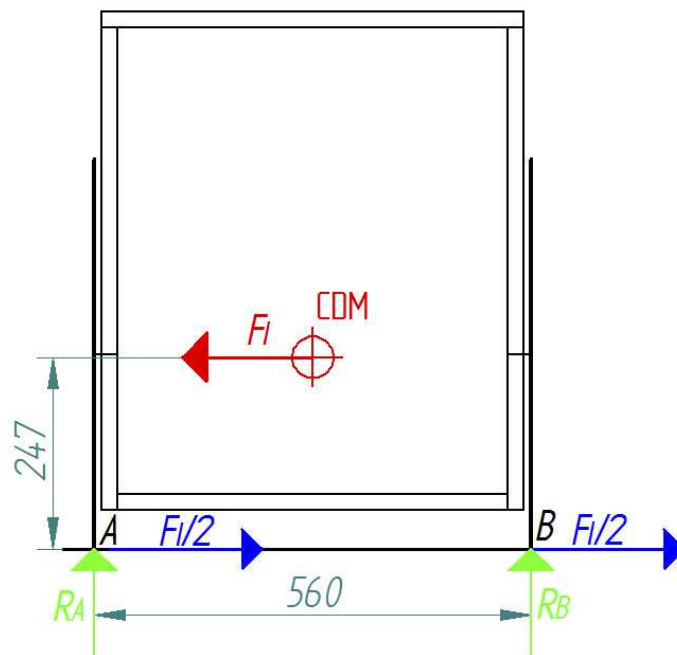


Figura 4.32 Diagrama de fuerzas en curva

Para averiguar la magnitud de la resultante vertical en la rueda exterior del prototipo, se calcula el sumatorio de momentos en el punto B de la figura 4.32 y se iguala a cero, de forma que se obtiene la siguiente ecuación:

$$R_A \cdot d_{A-B} + F_I \cdot h_{CDM} = 0$$

Ecuación 4.13

Donde:

- F_I es la fuerza de inercia generada en el centro de masas del piloto.
- R_i es la reacción en el punto i.
- d_{A-B} es el ancho de vía del prototipo.
- h_{CDM} es la altura del centro de masa del piloto.

Mediante la fuerza de inercia de 79,8 N generada en curva obtenida anteriormente y las distancias proporcionadas por la figura 4.32, se puede despejar de la ecuación 4.13 la reacción vertical en la rueda exterior del prototipo, obteniéndose un valor de **35,2 N**.

Con la fuerza de reacción en el apoyo de la rueda exterior obtenida, se procede de forma análoga al caso de la dinámica longitudinal. Se transforma el aumento de carga en una mayoración del peso del piloto.

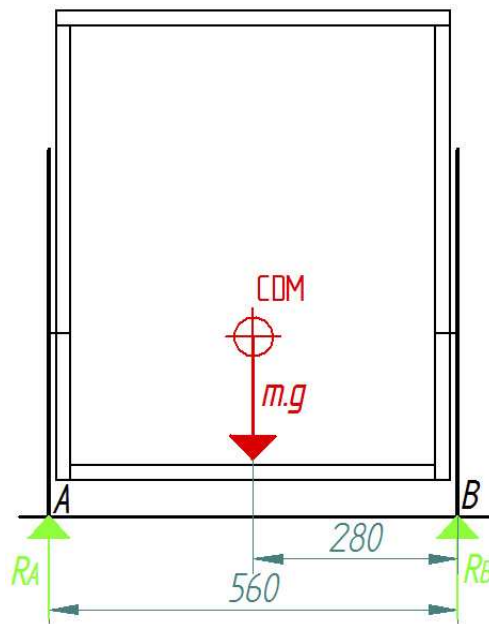


Figura 4.33 Transformación de las reacciones en curva

Para obtener el peso equivalente, en el centro de masas del piloto, que corresponde a esa reacción, se calcula, según el diagrama de fuerzas de la figura 4.33, el sumatorio de momentos en el punto B, expresado en la siguiente ecuación:

$$R_A \cdot d_{A-B} + m_c \cdot g \cdot d_{B-CDM} = 0 \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Donde:

- R_A es la reacción vertical en la rueda exterior.
- d_{A-B} es el ancho de vía del prototipo.
- m_c es la masa equivalente a la fuerza de reacción en la rueda exterior del prototipo en curva.
- g es la aceleración de la gravedad.
- d_{B-CDM} es la distancia horizontal entre el punto B y el centro de masa.

Contando con la reacción en la rueda exterior calculada, de 35,2 N, una aceleración de la gravedad de $9,8 \text{ m/s}^2$ y las distancias mostradas en la figura 4.33, se consigue, despejando en la ecuación 4.14, un valor de la masa equivalente a la fuerza de reacción en la rueda exterior de **7,2 kg**.

Por último se determina en tanto por uno, el incremento que supone la mayoración de $m_c = 7,2 \text{ kg}$ sobre la masa del piloto de $m_{\text{piloto}} = 54 \text{ kg}$, con lo que se obtiene un coeficiente de mayoración para el efecto de la toma de curvas de $\text{coef}_c = m_c / m_{\text{piloto}} = \mathbf{0,13}$.

4.6.- Otras masas y fuerzas

Antes de pasar al diseño del bastidor, es necesario conocer todas las masas y fuerzas que pueden afectar al mismo y en que forma lo hacen. Por eso, en esta sección se analiza y estudia la forma en la que afectan al diseño las masas y fuerzas que no se han tenido en cuenta en apartados anteriores.

4.6.1.- Sistema de propulsión

A causa del sistema de propulsión del prototipo se producen, respecto a las ya señaladas, nuevas tensiones en la estructura, tanto por la propia masa del sistema de propulsión, como por a las fuerzas que transfiere al sistema de transmisión.

Las tensiones que se crean en la estructura por la sujeción del motor, para que éste pueda transmitir su fuerza, se desprecian, pues se producen en la parte trasera de la estructura y no deberían propagarse a la parte delantera.

La masa del motor y de los demás elementos que lo acompañan, como el depósito de combustible o el propio aceite del motor, sí que han de ser tenidos en cuenta, ya que forman parte de las masas suspendidas del prototipo y por lo tanto generan nuevas tensiones en la estructura delantera.

La masa en vacío del motor es de 2,9 kg. Contando con un depósito de aceite de 88 cm³, un depósito de combustible de 1 L y los anclajes necesarios, se llega a una masa total aproximada de **5 kg**.

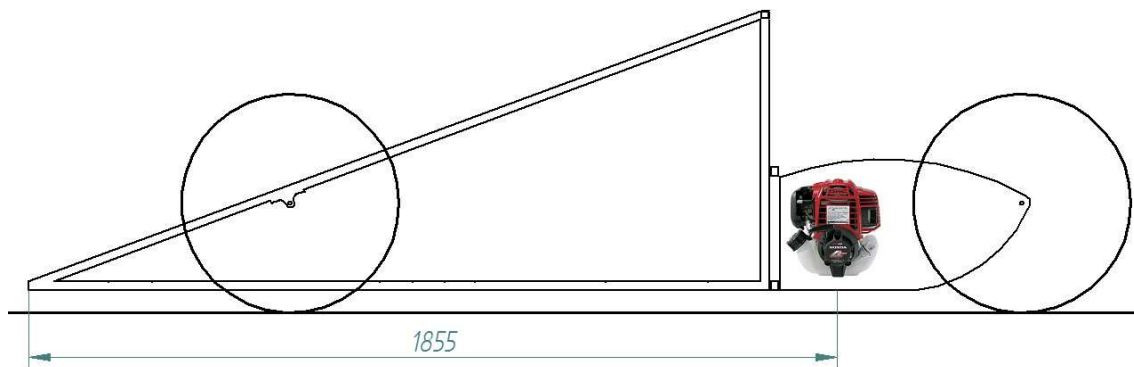


Figura 4.34 Posición del sistema de propulsión

Según los diseños previos de la estructura trasera [16], el motor se sitúa a 130 mm del extremo delantero de la parte posterior del bastidor, por lo que, como se ve en la figura 4.34, se encuentra a **1855 mm** del extremo delantero del prototipo.

4.6.2.- Sistema de transmisión

También debido al sistema de transmisión aparecen nuevas tensiones, creadas por el peso propio del sistema y por la transmisión de fuerza a la rueda.

El efecto que se produce en transmisiones por cadena, como la que emplea el prototipo, es una compresión de la parte superior de la estructura al acelerar, situación contraria a la que ocasionaría una transmisión por cardan. Sin embargo, estas tensiones se localizan en la parte trasera del bastidor, sin que se lleguen a propagar a la parte delantera, y en consecuencia, no se consideran.

La masa del sistema de transmisión, dado que se incluye en las masas suspendidas, se estima en **1 kg**. Y puesto que la mayor parte del sistema se encuentra anclada al eje del motor, se sitúa en la misma posición que el sistema de propulsión, es decir, **1855 mm** respecto al extremo delantero del prototipo.

4.6.3.- Sistema de dirección

Del sistema de dirección derivan dos tipos de tensiones, las que generan la propia masa del sistema y las que se crean al efectuar la fuerza necesaria para girar la rueda del prototipo.

La fuerza que ejerce dicho sistema a fin de conseguir el movimiento de la rueda directriz, está establecida por el grupo del sistema de dirección en unos 76 N, aplicada sobre las vigas inferiores laterales del prototipo [16]. No obstante, al no ser su dirección vertical, y no alcanzar grandes magnitudes, se desprecia.

En cuanto a la masa del sistema completo de dirección del prototipo, se puede suponer de **2 kg**. Igual que en casos anteriores, es posible aplicarla como una mayoración de la masa del piloto, calculada como una parte proporcional de la masa de este. Por lo que, el incremento que supone la mayoración de $m_{dir}= 2 \text{ kg}$ sobre la masa del piloto de $m_{piloto}= 54 \text{ kg}$, genera un coeficiente de mayoración para el efecto del peso del sistema de dirección de $\text{coef}_{dir}=m_{dir}/m_{piloto}= \mathbf{0,04}$.

4.6.4.- Estructura trasera

Acorde con los diseños precedentes, relativos a la parte trasera del bastidor del prototipo [16], este segmento tiene una masa total de **3 kg** y su centro de masas se puede aproximar al del motor, así pues se sitúa a **1855 mm** del extremo delantero del prototipo.

4.6.5.- Estructura delantera

Resulta preciso contabilizar el peso propio del bastidor delantero, puesto que es una masa suspendida del vehículo. A pesar de esto, es imposible conocer la masa exacta hasta llegar al diseño definitivo, por lo que, en los primeros pasos del diseño, el peso señalado no se tiene en cuenta.

Posteriormente, y una vez obtenida la estructura final, se introducirá el efecto de la gravedad sobre la misma, repitiéndose los cálculos necesarios.

4.6.6.- Equipamiento del piloto

Tal y como se especifica en los artículos 22 y 23 de la normativa, reflejados en el tercer apartado del presente capítulo, las principales masas que aparecen dentro del equipamiento del piloto son el casco y el mono, que se estiman en **1,3 kg** y **1,5 kg** respectivamente.

Estas masas se aplican como un coeficiente de mayoración a la masa del piloto, calculado como la parte proporcional que entrañan con respecto a la masa del conductor. En consecuencia, el incremento que supone la mayoración de $m_{\text{casco}} + m_{\text{mono}} = 2,8 \text{ kg}$ sobre la masa del piloto de $m_{\text{piloto}} = 54 \text{ kg}$, genera un coeficiente de mayoración para el efecto del peso del equipamiento del piloto de $\text{coef}_{\text{eq}} = (m_{\text{casco}} + m_{\text{mono}}) / m_{\text{piloto}} = \mathbf{0,05}$.

4.6.7.- Extintor de incendios

Según se regula en el artículo 31 de la normativa de la competición, comentado en el tercer apartado del presente capítulo, es obligatoria la incorporación de un extintor de incendios de **2,25 kg** de masa al habitáculo del prototipo. Y puesto que no está

especificada su ubicación, se aplica dicha masa como una mayoración a la masa del piloto, calculada como la parte proporcional que supone de la misma. Por tanto, el incremento que supone la mayoración de $m_{\text{extintor}} = 2,25$ kg sobre la masa del piloto de $m_{\text{piloto}} = 54$ kg, genera un coeficiente de mayoración para el efecto del peso del extintor de $\text{coef}_{\text{ex}} = m_{\text{extintor}}/m_{\text{piloto}} = \mathbf{0,04}$.

4.6.8.- Suelo del habitáculo y asiento

Se desconoce la masa exacta del suelo del prototipo, así como la del asiento del piloto, pero se supone una masa máxima, para la suma de ambos, de **5 kg**, aplicados como una mayoración de la masa del piloto, calculada como la parte proporcional que suponen en esta. Consecuentemente, el incremento que supone la mayoración de $m_{\text{suelo}} = 3$ kg sobre la masa del piloto de $m_{\text{piloto}} = 54$ kg, genera un coeficiente de mayoración para el efecto del peso del suelo del habitáculo de $\text{coef}_{\text{su}} = m_{\text{suelo}}/m_{\text{piloto}} = \mathbf{0,05}$.

4.6.9.- Carrocería

Respecto de la carrocería, se estima una masa de **2 kg**, aplicados como una mayoración de la masa del piloto, calculada como la parte proporcional que implican en dicha masa. Este incremento, que supone la mayoración de $m_{\text{carrocería}} = 2$ kg sobre la masa del piloto de $m_{\text{piloto}} = 54$ kg, genera un coeficiente de mayoración para el efecto del peso de la carrocería de $\text{coef}_{\text{ca}} = m_{\text{carrocería}}/m_{\text{piloto}} = \mathbf{0,04}$.

4.6.10.- Ruedas y ejes

Tanto las ruedas como los ejes del prototipo son masas no suspendidas, por lo que su peso no influye en las tensiones generadas en la estructura y por consiguiente no se tienen en cuenta para el diseño

4.6.11.- Fuerzas aerodinámicas

Sobre cualquier vehículo en movimiento aparecen fuerzas a causa de la resistencia aerodinámica. Incluso, dependiendo de la forma exterior del prototipo, es posible que aparezcan fuerzas verticales de sustentación. Pero, dado que el prototipo alcanza velocidades entorno a los 40 km/h y que en el diseño de su parte externa se pretende conseguir la mínima resistencia aerodinámica posible, los valores que alcance el prototipo serán mínimos y, por tanto, se desprecian los efectos de dichas fuerzas.

4.6.12.- Frenos

La fuerza de frenado que ejercen los sistemas de frenado del prototipo provoca sobre la estructura una reacción de igual módulo y sentido contrario a dicha fuerza. En consecuencia se puede estudiar la posición de anclaje de este sistema a fin de que las fuerzas que ejerza sobre la estructura sean beneficiosas. Dicho aspecto se analiza en el apartado 5.6.2.

Otra influencia del sistema de frenado la constituye su masa, que puede ser despreciada, teniendo en cuenta los sistemas de frenado que se barajan para el prototipo.

4.6.13.- Baches e irregularidades en la pista

Otra de las posibles causas de aparición de nuevas tensiones en el bastidor, y al mismo tiempo, la más impredecible, es la existencia de baches o cualquier tipo de irregularidad sobre la pista de la competición.

El circuito de EuroSpeedway Lausitz posee pistas de competición preparadas para eventos donde, considerando las velocidades que se alcanzan, es vital disponer de un firme lo más regular posible, ya que lo contrario podría resultar peligroso. Aún así, es arriesgado presumir que no aparecerá ninguna irregularidad en el trayecto del prototipo. Es por tanto necesario valorar las eventuales tensiones que se puedan generar por las aceleraciones provocadas por las irregularidades de la pista. Además, es preciso considerar que el prototipo no incorpora ningún tipo de suspensión que amortigüe los efectos de dichas irregularidades.

En consecuencia, se establece un factor de seguridad que considere el efecto de los baches y las irregularidades en la pista así como el de otras causas de tensiones inesperadas. Por tanto, las tensiones máximas calculadas para situaciones del vehículo en marcha se multiplican por un factor de seguridad de **n=4**.

4.7.- Materiales

Los principales materiales barajados para la elaboración de la estructura del prototipo son el aluminio, el acero y el titanio, ya que, debido a sus cualidades, son los más empleados en esta clase de estructuras [18]. Para seleccionar el material más apropiado entre los citados, se analizan las propiedades mecánicas de cada uno, mostradas en la tabla 4.11.

Material	Densidad (kg/m ³)	Módulo elástico (GPa)	Límite de rotura (MPa)
Aluminio	~2700	~70	~190
Acero	~7800	~200	~450
Titanio	~4500	~110	~820

Tabla 4.11 Propiedades de los materiales [18]

El primer material descartado es el acero ya que, como se puede observar en la tabla 4.11, aun teniendo unas buenas propiedades mecánicas, es el más pesado en comparación con los otros dos.

La elección entre el titanio y el aluminio parece bastante clara, ya que, mientras la densidad del aluminio es aproximadamente 1,6 veces menor que la del titanio, su resistencia a tracción es unas 4,3 veces más pequeña. El problema surge en los costes y en las dificultades para el mecanizado del titanio. Por tanto, la elección final para el material a emplear en el bastidor es el aluminio.

En concreto, la aleación de aluminio empleada es la denominada Simagaltok 63-T5 o L-3441 / 38.337 según la norma española, cuyas principales propiedades se detallan en la tabla 4.12. Dicha opción es la elegida por la mayor oferta existente de perfiles cuadrados de dicho material, lo que supone mayor facilidad para conseguir las medidas requeridas.

Aluminio Simagaltok 63-T5	
Módulo elástico (Gpa)	69,5
Límite elástico (Mpa)	130
Limite de rotura (MPa)	175
Densidad (kg/m3)	2700

Tabla 4.12 Principales propiedades del aluminio Simagaltok 63-T5 [19]

Capítulo V

DISEÑO Y ANÁLISIS DEL BASTIDOR

Una vez planteados todos los parámetros a tener en cuenta, se puede afrontar el diseño del bastidor del prototipo.

El método empleado comienza creando un modelo con el que aplicar, a cada una de las estructuras diseñadas, las tensiones a las que serán sometidas durante la competición. A través de este modelo se ensayan los esfuerzos a los que será sometida la estructura en los momentos más exigentes de la competición y se realizan las pruebas establecidas por la organización para comprobar la validez de los prototipos. El modelo se realiza con el programa de elementos finitos Ansys 10.0.

El segundo paso del diseño consiste en modelar como una única pieza, mediante el programa Solid Edge V18, un bastidor inicial llamado *bastidor 1.0*. Una vez diseñado, se introduce en el modelo de prueba creado en Ansys para analizar su comportamiento frente a las cargas correspondientes.

Con la información obtenida de la prueba en Ansys, se reconfigura el bastidor inicial añadiendo o modificando los elementos que se crean oportunos, para disminuir las

tensiones máximas que sufre el bastidor. El resultado será el *bastidor 1.1*, que de nuevo se introduce en el modelo de prueba para ver su comportamiento frente a las cargas. Este último paso se repite hasta conseguir unos niveles de tensiones que lleguen al factor de seguridad establecido para cada prueba.

A continuación, se repite el proceso desde el segundo paso creando un nuevo modelo de bastidor inicial con una disposición diferente de los elementos principales.

Para concluir, se elige el modelo de bastidor que, soportando las tensiones a los niveles requeridos por cada prueba, tenga el menor peso. Se rediseña mediante elementos separados, tal y como se fabricará en la realidad, y se vuelve a analizar mediante el modelo en Ansys incluyendo su propio peso y los agujeros necesarios para las uniones y anclajes de otros elementos. Además se somete a ciertas comprobaciones finales de seguridad, descritas en el apartado 5.4.

5.1.- Creación del modelo de prueba en Ansys

El modelo creado en Ansys para el examen de los bastidores consta de tres pruebas, una de ellas simula las máximas cargas que pueden sufrir durante la competición y las dos restantes hacen una estimación de las cargas que se aplican durante las pruebas que efectúa la organización a los prototipos participantes.

5.1.1.- Prueba 1: Marcha

La prueba *Marcha* somete al bastidor a las máximas cargas que puede sufrir durante la competición. El modelo está basado en las siguientes cargas reales:

- Peso del piloto.
- Peso del sistema propulsor.

- Peso del sistema de transmisión
- Peso del sistema de dirección.
- Peso de la estructura trasera.
- Peso del equipamiento del piloto.
- Peso del extintor de incendios.
- Peso del suelo del prototipo y del asiento.
- Peso de la carrocería.
- Transferencia de carga durante el frenado.
- Transferencia de carga durante la toma de curvas.

De los factores enumerados, el peso del sistema de propulsión, la transmisión y la estructura trasera se aplican directamente sobre la estructura. Mientras que para el resto, se aplican sobre la masa del piloto los coeficientes de mayoración calculados en el apartado 4.6.

Para hallar el coeficiente final de mayoración, se suman todos los coeficientes individuales, más un coeficiente igual a la unidad, correspondiente al peso del piloto, como se ve en la tabla 5.1.

Deceleración	0,08
Curva	0,13
Dirección	0,04
Equipamiento	0,05
Extintor	0,04
Suelo	0,05
Carrocería	0,04
Peso piloto	1
Suma	1,43

Tabla 5.1 Coeficientes de mayoración de la masa del piloto

El coeficiente final de mayoración obtenido de **1,43**, se multiplica por cada una de las cargas lineales de los apoyos descritos en el apartado 4.4.5 para obtener unas cargas finales que cuentan con el efecto de los factores que representan los coeficientes de mayoración. Las cargas finales, junto con el resto de los datos de los apoyos, se muestran en la tabla 5.2, donde aparecen de izquierda a derecha el nombre del apoyo, la posición de su centro respecto a extremo delantero del bastidor, su longitud, la posición de su punto inicial y de su punto final respecto al extremo delantero del bastidor, la fuerza total aplicada en el apoyo, la carga por unidad de longitud en el mismo y la carga por unidad de longitud multiplicada por el coeficiente final de mayoración.

Apoyo	Posición	Longitud	x_i	x_f	Fuerza (N)	Carga lineal (N/mm)	Carga lineal con mayoración 1,43
A	231	100	181	281	34,3	0,343	0,49049
B	879	150	804	954	50,9	0,339	0,48581
C1	951	144	879	1023	121,3	0,842	1,20676
C2	1173	300	1023	1323	222,0	0,740	1,06039
C3	1440,5	235	1323	1558	1000,6	0,428	0,60826

Tabla 5.2 Descripción de los apoyos

Según se aprecia en la tabla 5.2, el punto final del apoyo *B* se encuentra a 954 mm, mientras que el principio del apoyo *C*₁ está a 879 mm. Esto significa que ambos apoyos se superponen, por lo que es necesario reorganizarlos para aplicar únicamente una presión por zona.

Para reorganizarlos basta con modificar los apoyos *B* y *C*₁ ya que son los únicos afectados. Los apoyos *A*, *C*₂ y *C*₃ mantienen sus fuerzas y posiciones, pasando a llamarse 1, 5 y 6 respectivamente. El apoyo 2 está formado por el segmento no superpuesto del apoyo *B*, por lo que mantiene su carga lineal y su punto inicial, mientras que su punto final pasa a encontrarse en el punto inicial del apoyo *C*₁. El apoyo 4 lo forma la parte no superpuesta del apoyo *C*₁, por lo que mantiene su carga lineal y su punto final, pasando su punto inicial al punto final del apoyo *B*. El apoyo 3 pertenece a la zona superpuesta de los apoyos *B* y *C*₁, por lo que su carga lineal es la suma de las

cargas lineales de ambos y sus puntos inicial y final se encuentran en el punto inicial del apoyo C_1 y en el punto final del apoyo B respectivamente.

En la tabla 5.3 se muestran los datos de los nuevos apoyos, junto con las cargas lineales de cada apoyo, convertidas a presión para dos perfiles de anchura 20 mm, 25 mm, 35 mm, y 50 mm, que son las secciones más apropiadas para el diseño dentro de las ofertadas por el fabricante, por ser las que ofrecen mayor variedad de espesores.

Apoyo	x_i	x_f	Longitud	Carga lineal mayorada (N/mm)	Presión (Mpa) para 2 perfiles de secciones:			
					20 mm	25 mm	35 mm	50 mm
1	241	341	100	0,49049	0,01226	0,01962	0,01401	0,00981
2	864	939	75	0,48581	0,01214	0,01943	0,01388	0,00971
3	939	1014	75	1,69257	0,04231	0,06770	0,04835	0,03385
4	1014	1083	69	1,20676	0,03016	0,04827	0,03447	0,02413
5	1083	1383	300	1,06039	0,02650	0,04241	0,03029	0,02120
6	1383	1618	235	0,60826	0,01520	0,02433	0,01737	0,01216

Tabla 5.3 Masa y posición en x del CDM de cada segmento del resto del cuerpo del piloto

Las cargas lineales se han convertido a presión contando con el ancho de dos vigas porque la carga que transmite el suelo del habitáculo a la estructura, recae directamente sobre las vigas laterales inferiores, que en este caso son dos.

Al introducir el modelo en Ansys surge un problema, y es que al estar centrado el presente diseño en la estructura delantera, no se cuenta con el modelo del prototipo entero. Dicha circunstancia, impide simular el bastidor de la forma más intuitiva, como sería emplear coacciones de movimiento vertical en las ruedas y aplicar las cargas sobre el bastidor.

La alternativa entonces, consiste en aplicar empotramientos en las uniones con la parte trasera del prototipo, obteniéndose una estructura en voladizo, sobre la que se aplican las cargas descritas en la tabla 5.3. Dichas cargas, corresponden al peso del piloto y demás elementos que se apoyan sobre la estructura delantera. Por su parte, en las

uniones del eje delantero se introducen las reacciones verticales que resultarían en las ruedas delanteras al aplicar, sobre el prototipo completo, todos los pesos que tiene que soportar en la realidad.

Para hallar las reacciones en las ruedas delanteras se plantea una viga biapoyada (ver figura 5.1) cuya de distancia entre apoyos es la batalla del prototipo, sobre la que se ejerce la fuerza del peso mayorado del piloto aplicada en la posición de su centro de masa, y el peso del sistema de propulsión, la transmisión y la estructura trasera, en su punto de aplicación.

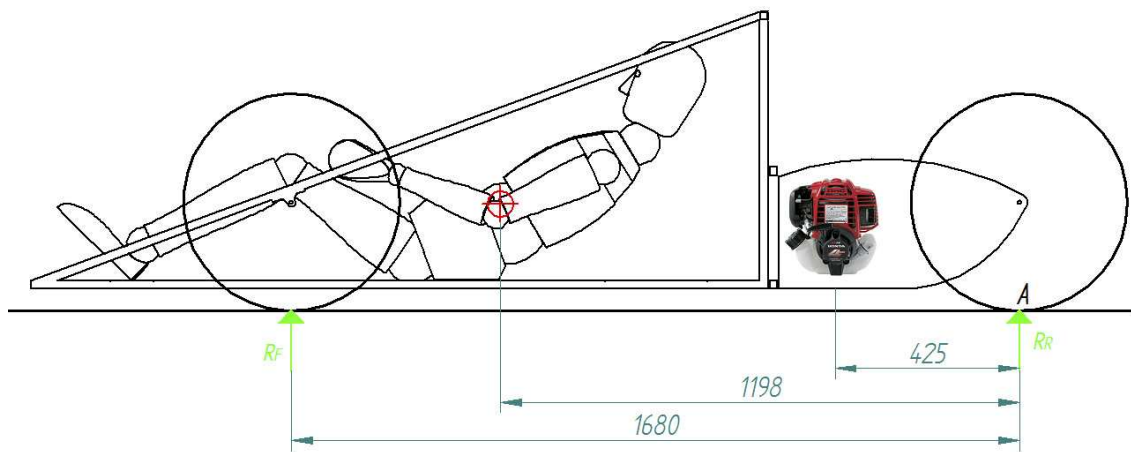


Figura 5.1 Posición del CDM del piloto y del CDM del sistema de propulsión

Para resolver el sistema de fuerzas de la figura 5.1, se calcula el sumatorio de momentos que generan todas las fuerzas sobre el punto A, el cual expresa la siguiente ecuación:

$$R_F \cdot d_{F-A} + P_{Piloto} \cdot d_{CDM-A} + P_{tras} \cdot d_{tras-A} = 0$$

Ecuación 5.1

Donde:

- R_F es la reacción en el eje delantero.
- d_{F-A} es la batalla del prototipo.
- P_{Piloto} es el peso mayorado del piloto.

- d_{CDM-A} es la distancia horizontal entre el centro de masa del piloto y el punto A.
- P_{tras} es el peso del sistema de propulsión, la transmisión y la estructura trasera.
- d_{tras-A} es la distancia horizontal entre el centro de masa del piloto y el punto A.

El peso mayorado del piloto es $54 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1,43 = \mathbf{756,756 \text{ N}}$. Como los pesos del sistema de propulsión, la transmisión y la estructura trasera se aplican en el mismo punto, se suman, obteniéndose un peso total de $(5 \text{ kg} + 1 \text{ kg} + 3 \text{ kg}) \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{88,2 \text{ N}}$.

Introduciendo estos pesos en la ecuación 5.1, junto con las distancias mostradas en la figura 5.1, se puede despejar el valor de la reacción en el eje delantero, cuyo valor es de $561,9 \text{ N}$. Y como la reacción del eje delantero se aplica en sus dos apoyos, la fuerza a emplear en cada uno es la mitad, igual a $\mathbf{281 \text{ N}}$.

Por último cabe indicar que, el coeficiente de seguridad para las tensiones alcanzadas en esta prueba tiene que ser por lo menos de $\mathbf{n=4}$, para compensar, como se explicó en el apartado 4.6.6., las acciones susceptibles de provocar tensiones imprevistas. En el caso de emplear la aleación de aluminio 63-T5 con límite elástico 130 MPa , el máximo valor de las tensiones admisibles para un factor de seguridad de $n=4$ es de $130/4 = \mathbf{32,5 \text{ MPa}}$.

5.1.2.- Prueba 2: Barra antivuelco vertical

La prueba *Barra antivuelco vertical* está basada en la primera parte de la comprobación que hace la organización sobre la efectividad de la barra antivuelco del prototipo. En dicha comprobación, descrita en la normativa y en el apartado 4.3 del presente proyecto, se carga, sobre la barra antivuelco del prototipo, un peso de $\mathbf{700 \text{ N}}$, comprobando que no se produce ninguna deformación permanente en la estructura. Por ello, el modelo esta basado en las siguientes cargas reales:

- Peso de 700 N sobre la barra antivuelco.
- Peso del sistema de propulsión.
- Peso del sistema de transmisión.
- Peso de la estructura trasera.

El modelo en Ansys es similar al de la prueba *Marcha*. Se introduce un empotramiento en la unión inferior con la parte trasera, una coacción de movimientos horizontales en la unión superior, 700 N sobre la barra antivuelco y las reacciones en los anclajes del eje delantero. Para hallar las reacciones en el eje delantero se plantea el diagrama de fuerzas de la figura 5.2.

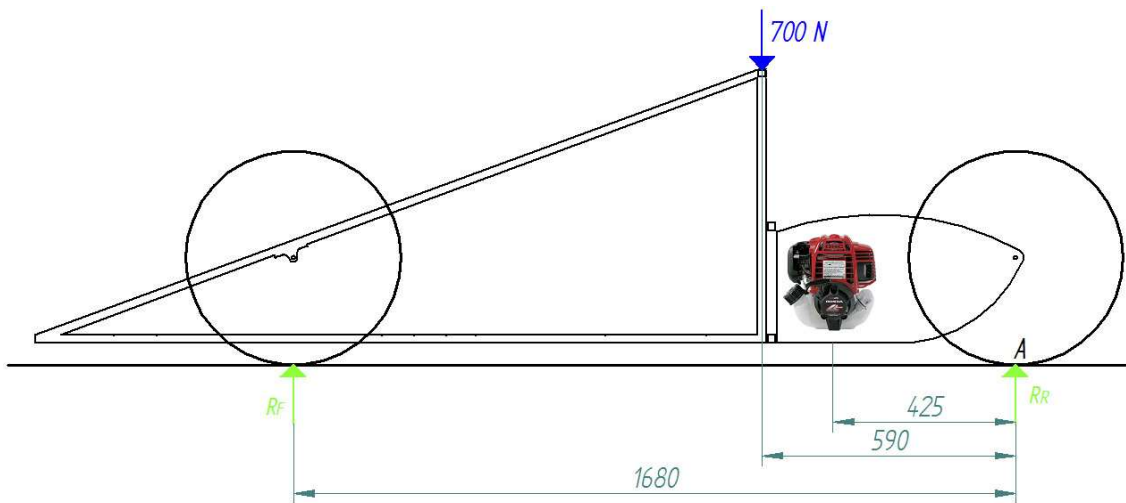


Figura 5.2 Diagrama de fuerzas en la barra antivuelco

Para resolver el sistema, se calcula el sumatorio de momentos que generan todas las fuerzas sobre el punto A, el cual expresa la siguiente ecuación:

$$R_F \cdot d_{F-A} + 700 \text{ N} \cdot d_{ant-A} + P_{tras} \cdot d_{tras-A} = 0$$

Ecuación 5.2

Donde:

- R_F es la reacción en el eje delantero.
- d_{F-A} es la batalla del prototipo.
- d_{ant-A} es la distancia horizontal entre el punto de aplicación de los 700N y el punto A.
- P_{tras} es el peso del sistema de propulsión, la transmisión y la estructura trasera.
- d_{tras-A} es la distancia horizontal entre el centro de masa del piloto y el punto A.

Las fuerzas aplicadas son los **700 N** que indica la prueba y los pesos del sistema de propulsión, la transmisión y la estructura trasera, que se aplican en el mismo punto, por lo que se suman, obteniéndose un peso total de (5 kg+1 kg+3 kg). $9,8\text{m/s}^2 = \mathbf{88,2\text{ N}}$.

Introduciendo estas fuerzas en la ecuación 5.2, junto con las distancias mostradas en la figura 5.2, se puede despejar el valor de la reacción en el eje delantero, cuyo valor es de 268 N. Y como la reacción del eje delantero se aplica en sus dos apoyos, la fuerza a emplear en cada uno es la mitad, igual a **134 N**.

En esta prueba, dado que se realiza en estático y no cabe esperar tensiones imprevistas, salvo en la colocación de la carga, el coeficiente de seguridad para las tensiones debe ser de al menos de **n=2**. En caso de emplear la aleación de aluminio 63-T5 con límite elástico 130 MPa, el límite de tensiones admisibles para un factor de seguridad de n=2 es de $130/2 = \mathbf{65\text{ MPa}}$.

5.1.3.- Prueba 3: Barra antivuelco horizontal

La prueba *Barra antivuelco horizontal* esta basada en la segunda parte de la comprobación que hace la organización sobre la efectividad de la barra antivuelco del prototipo, descrita en la normativa y en el apartado 4.3. del presente proyecto. En ella,

se aplica una carga de **700 N** sobre el lateral de la barra antivuelco, confirmando que no se produce ninguna deformación permanente en la estructura. Por ello, la prueba *Barra antivuelco horizontal* se basa en las siguientes cargas reales:

- Fuerza de 700 N sobre el lateral de la barra antivuelco.

El modelo en Ansys, simula la prueba mediante una fuerza de 700 N en el punto medio del lateral de la barra antivuelco, y un empotramiento en el lateral contrario de la estructura.

El coeficiente de seguridad ha de ser al menos de **n=2**, ya que es una prueba estática y no se prevén tensiones inesperadas, salvo durante la colocación de la carga. En el caso de emplear la aleación de aluminio 63-T5 con límite elástico 130 MPa, el máximo valor de las tensiones admisibles para un factor de seguridad de $n=2$ es de $130/2=$ **65 MPa**.

5.2.- Diseño y análisis de los bastidores

Una vez establecidos todos los parámetros que definen las dimensiones principales del bastidor y creado el modelo de análisis, se procede al diseño de las estructuras.

Es necesario indicar, que la primera solución adoptada para las uniones entre barras es el empleo de remaches, por tanto, conviene diseñar estructuras simples, con el menor número de uniones posibles, ya que estas pueden reducir la resistencia de la estructura. Es también conveniente evitar el uso de perfiles de distintas medidas, puesto que dificultaría la fabricación de la estructura.

5.2.1.- Bastidor 1.0

El primer bastidor creado durante el proceso de diseño está compuesto por la disposición básica de las barras de una estructura rígida, el triángulo.

Atendiendo a las dimensiones descritas en la figura 4.17 y a la posición de los elementos de unión con la parte trasera que aparece en el apartado 4.2.3., se diseña el bastidor 1.0 (ver figura 5.3) utilizando barras de aluminio Simagaltok 63-T5 de perfil 20x20 mm con espesor 2 mm.

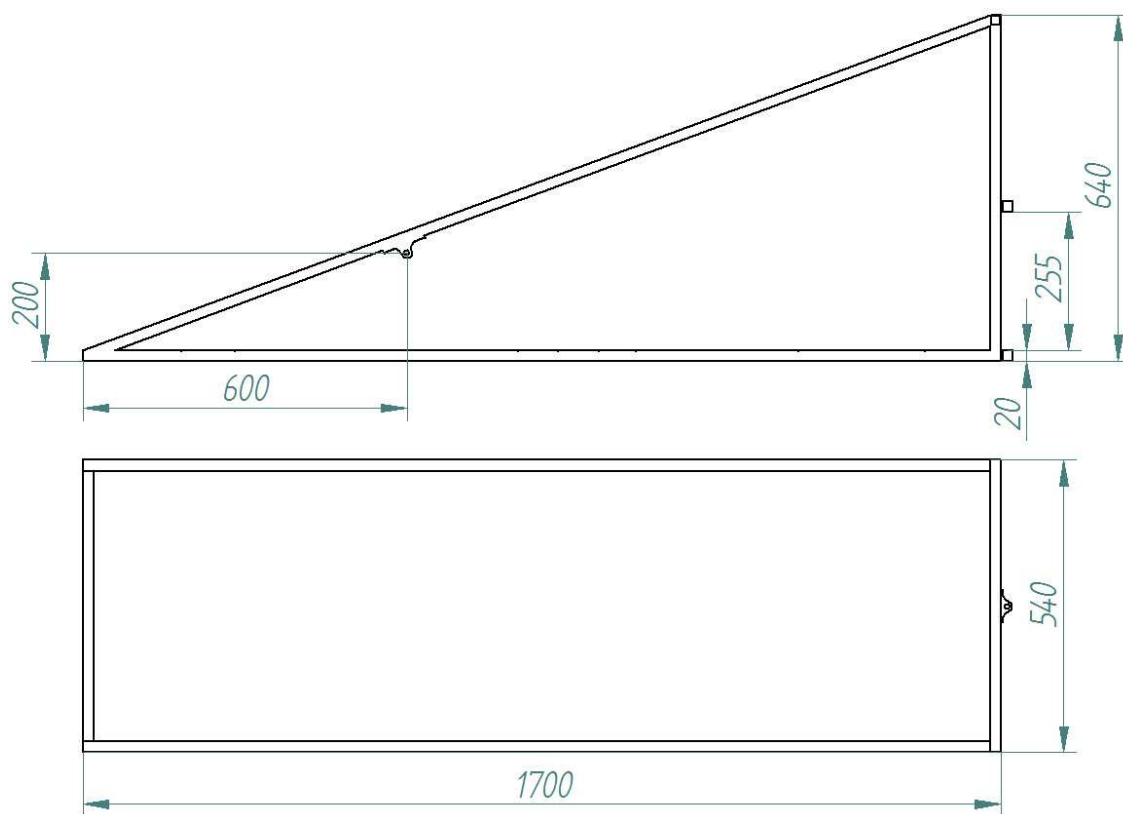


Figura 5.3 Bastidor 1.0

5.2.1.1.- Bastidor 1.0 en la prueba *Marcha*

Se introduce el bastidor 1.0 en el modelo de prueba *Marcha*, aplicando las cargas y coacciones correspondientes como aparece en la figura 5.4.

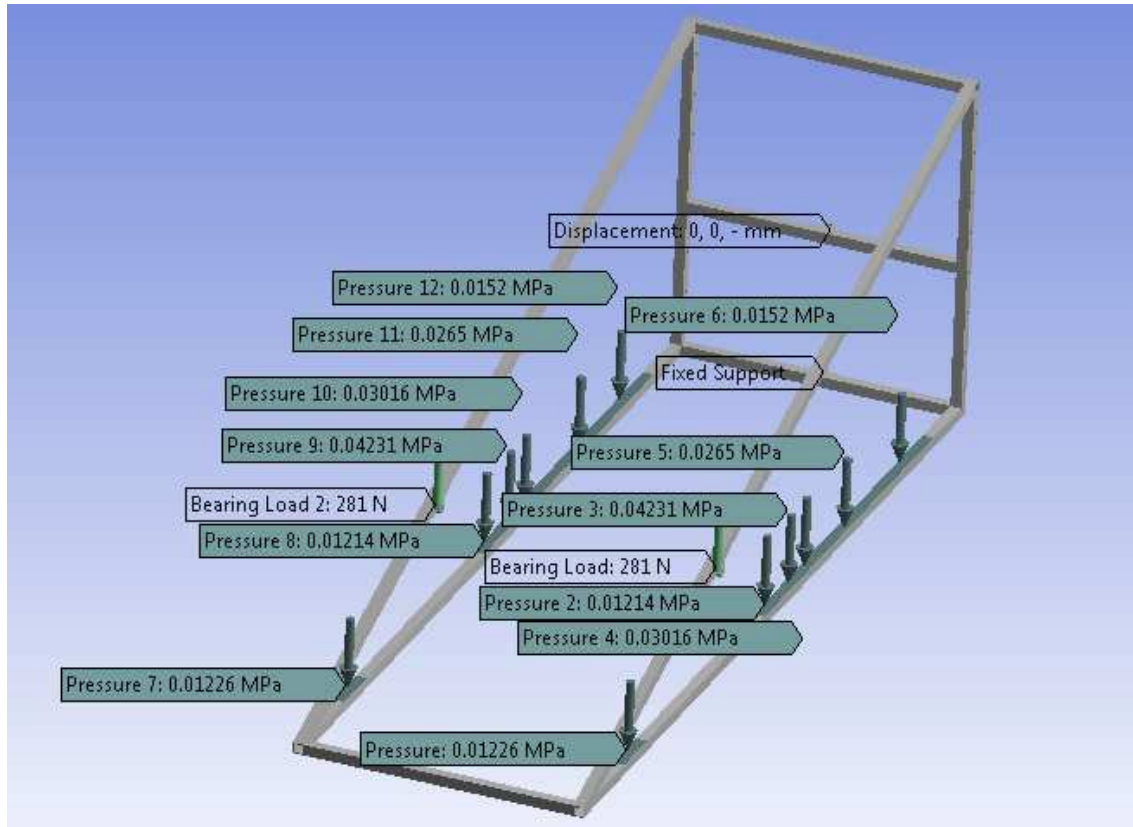


Figura 5.4 Prueba *Marcha*

Una vez analizado el bastidor 1.0 mediante Ansys, se obtienen los resultados mostrados en la figura 5.5, donde se observa que el factor de seguridad es de $n=1,8$, valor mucho menor que el del factor de seguridad mínimo para la prueba *Marcha* de $n=4$. Además se pueden observar, redondeadas en rojo, las zonas donde se concentran las mayores tensiones.

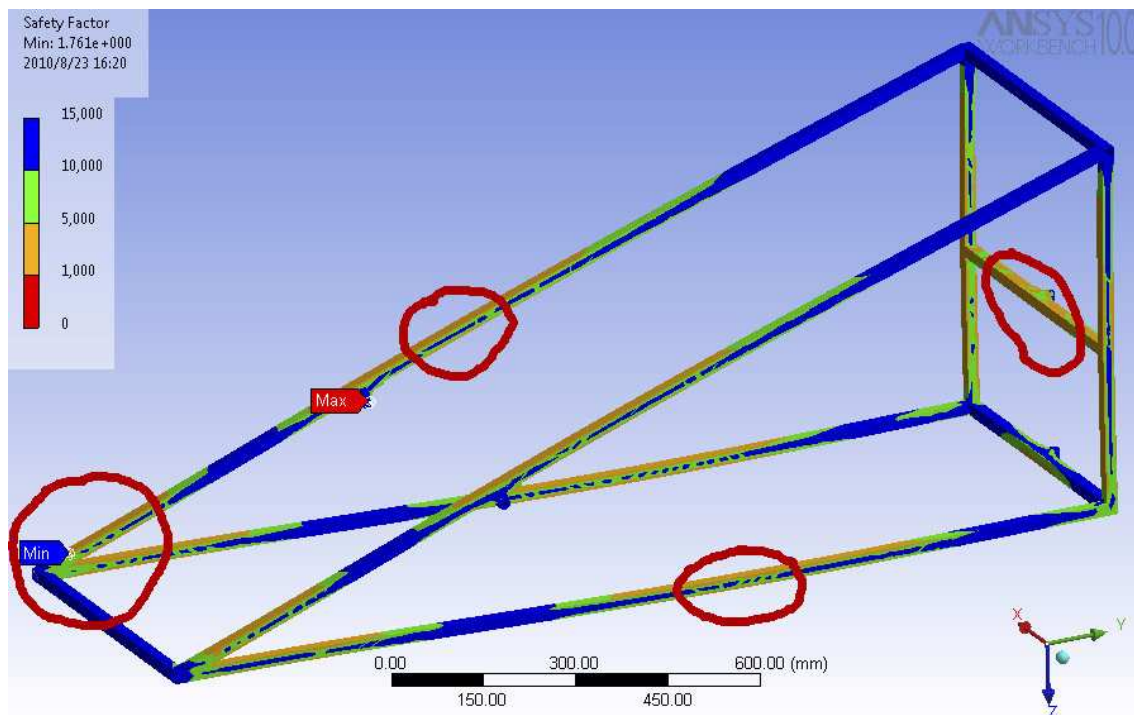


Figura 5.5 Bastidor 1.0 en la prueba *Marcha*

La primera zona de izquierda a derecha, que es la unión de las vigas laterales inferiores con las vigas laterales superiores, es la primera zona problemática, ya que se crea en ella un momento flector producido por el peso del piloto sobre las vigas laterales inferiores y por la reacción en el eje delantero, que recae sobre las vigas laterales superiores.

La segunda zona de izquierda a derecha, es decir, la mitad de las vigas laterales superiores, sufre grandes tensiones debidas al momento que crea la reacción del eje delantero.

La tercera zona de izquierda a derecha, mitad de las vigas laterales inferiores, sufre el mismo problema que la segunda zona, en este caso debido al peso del piloto.

La cuarta zona de izquierda a derecha, situada en la sujeción del anclaje con la parte trasera, soporta grandes tensiones debido a la fuerza horizontal, en dirección longitudinal, que crea el momento flector producido en la zona de unión con la parte trasera.

5.2.1.2.- Bastidor 1.0 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

En la figura 5.6, se pueden ver las cargas y coacciones introducidas en Ansys, sobre el bastidor, para la prueba *Barra antivuelco vertical*.

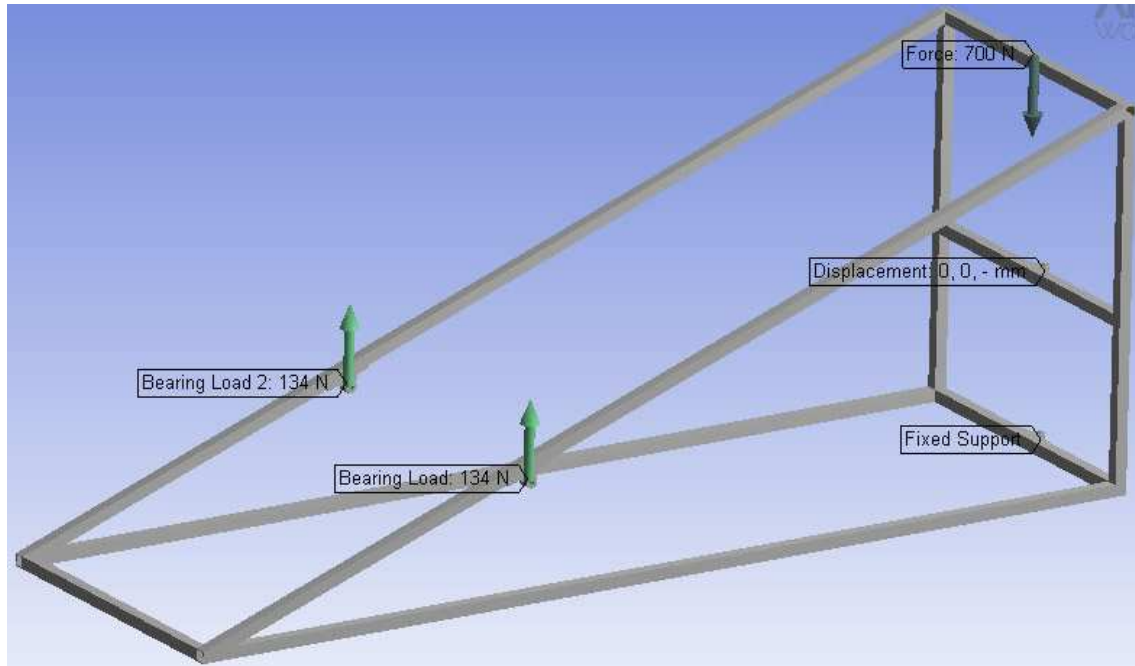


Figura 5.6 Prueba *Barra antivuelco vertical*

Tras su análisis con Ansys, se pueden observar, marcadas en rojo en la figura 5.7, las tensiones superiores a 65 MPa, tensión máxima para el factor de seguridad de $n=2$ establecido para la prueba, por lo que el bastidor 1.0 tampoco supera la prueba *barra antivuelco vertical*.

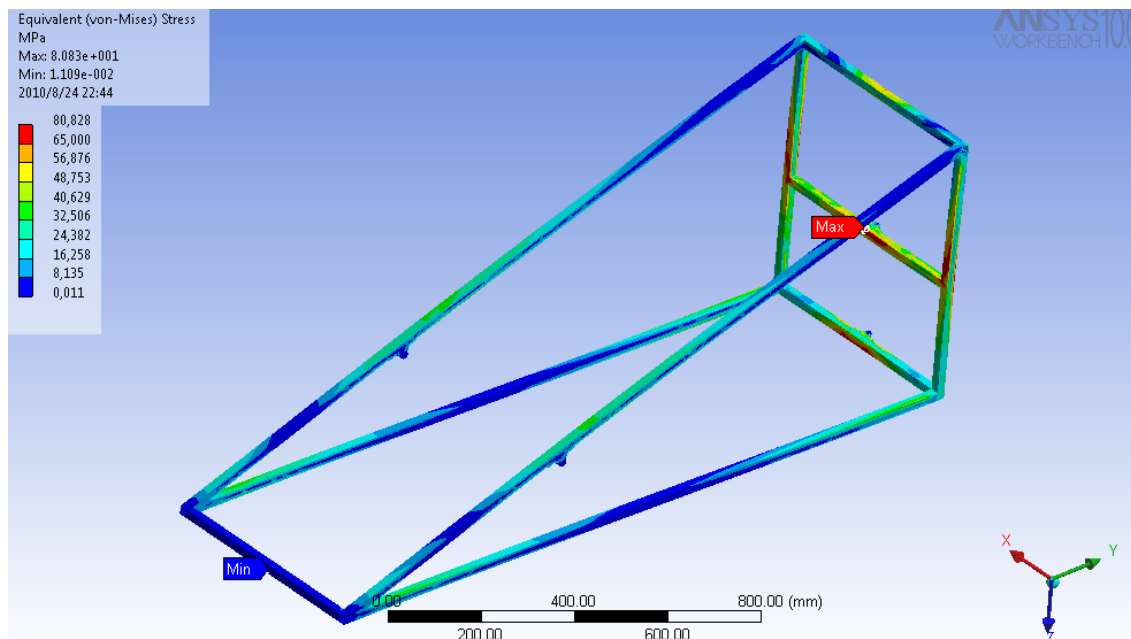


Figura 5.7 Bastidor 1.0 en la prueba Marcha

5.2.1.3.- Bastidor 1.0 en la prueba *Barra antivuelco horizontal*

En la figura 5.8, se pueden ver las cargas y coacciones introducidas en el bastidor para la prueba *Barra antivuelco horizontal*.

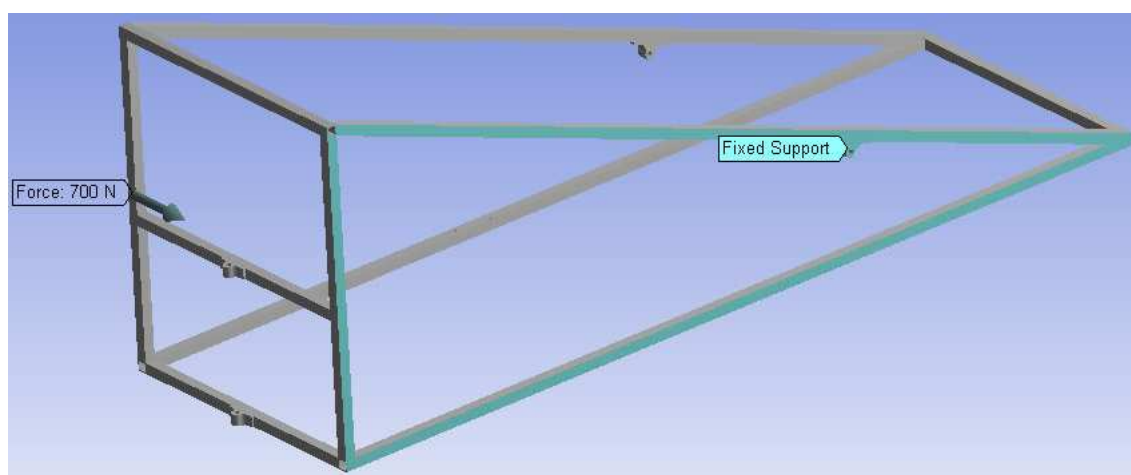


Figura 5.8 Prueba *Barra antivuelco vertical*

Tras su análisis con Ansys se obtiene un factor de seguridad $n=8,8$, valor considerablemente alto, gracias a la disposición de la barra que soporta el anclaje con la parte trasera, que absorbe gran parte de la carga de la prueba mediante esfuerzo axial.

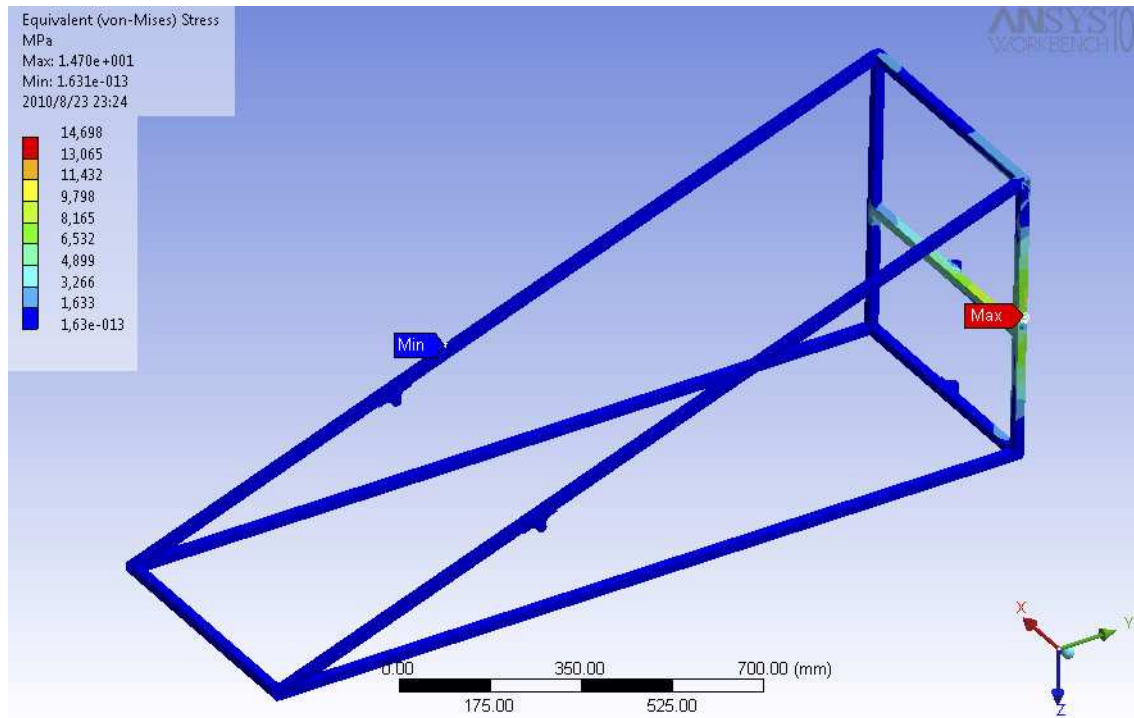


Figura 5.9 Bastidor 1.0 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

5.2.2.- Bastidor 1.1

Para buscar una solución al bastidor 1.0, se crea la figura 5.10, donde se observa la posición del bastidor sin deformación y con ésta, multiplicada por un factor de 6,4, indicando en rojo los puntos que sobrepasan tensiones de 32 MPa, que son las que no llegan al factor de seguridad de $n=4$.

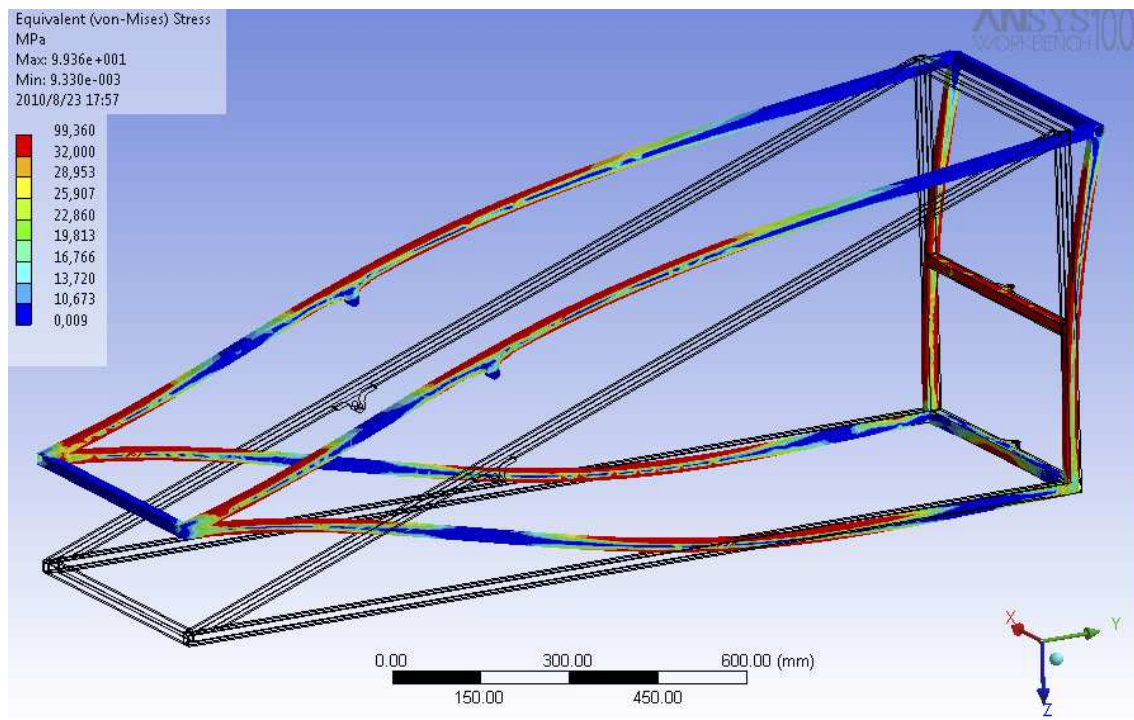


Figura 5.10 Desplazamientos del Bastidor 1.0 en la prueba *Marcha*

Analizando la figura 5.10, se aprecia que hay dos puntos sobre los que trabajar para mejorar los niveles de tensiones del bastidor:

- El primero se basa en la separación que sufren las vigas laterales de la estructura, lo cual influye en el excesivo momento flector creado en el extremo delantero de la misma. Colocando un elemento que conecte las vigas laterales de cada lado entre sí, se descarga de tensiones la parte delantera, a la par que, bien colocado este, puede eliminar las tensiones de los segmentos medios de dichas vigas.
- El segundo punto es el apoyo de la unión superior a la parte trasera. Dado que la distancia entre los anclajes del eje central es mucho más pequeña de lo que permite la estructura delantera, el momento flector que se produce en esta zona es elevado. Una forma de solucionarlo consiste en añadir una nueva viga vertical que una las tres vigas transversales de la parte trasera de la estructura, de forma que absorba parte de los esfuerzos que soportan.

Se incorpora, como se ha descrito, una chapa uniendo las vigas laterales, y dos perfiles de 20x20 mm y espesor 2 mm, uniendo las vigas transversales traseras por su parte central, quedando así el bastidor 1.1 como se ve en la figura 5.11.

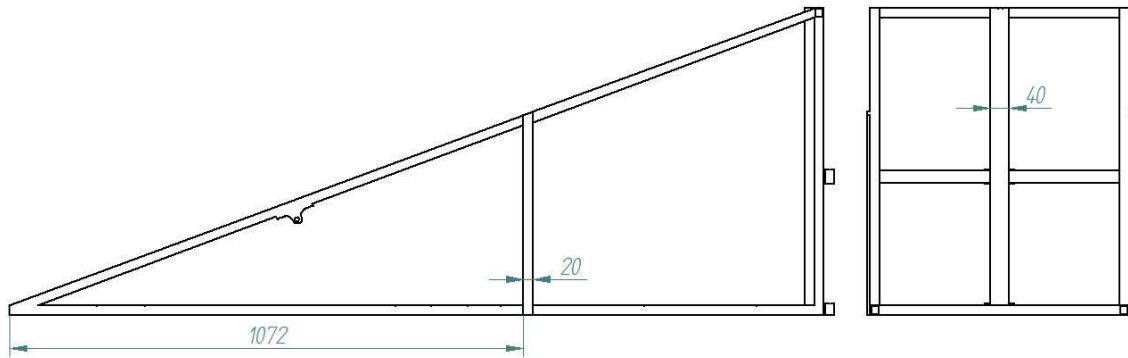


Figura 5.11 Bastidor 1.1

5.2.2.1.- Bastidor 1.1 en la prueba *Marcha*

Se introduce el bastidor 1.1 en el la prueba *Marcha*, obteniendo un factor de seguridad $n=3,2$. Los resultados se pueden apreciar en la figura 5.12, donde se encuentran marcadas en rojo las zonas de tensiones superiores a las permitidas en la prueba.

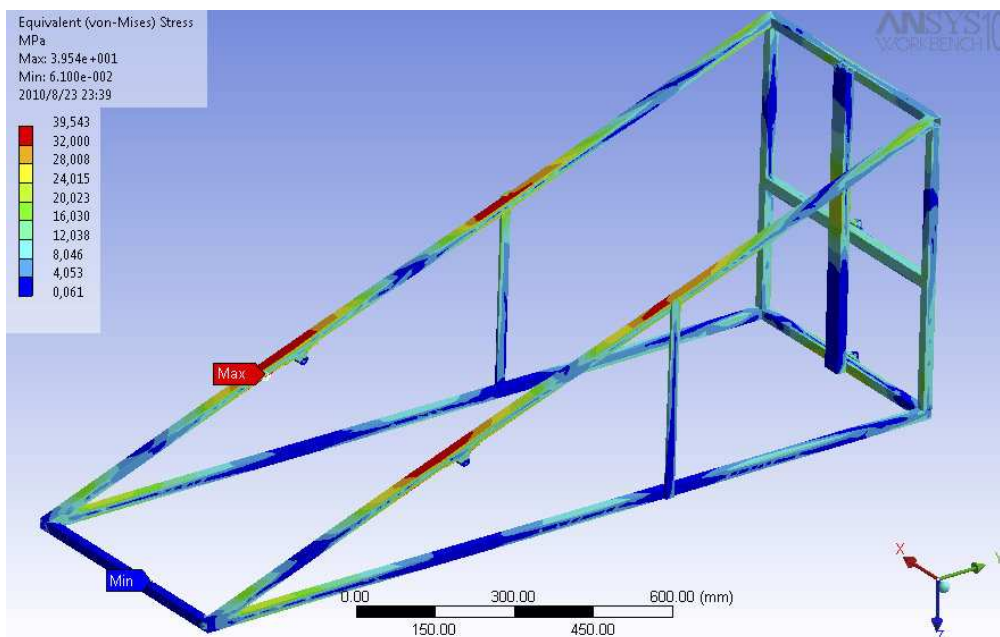


Figura 5.12 Bastidor 1.1 en la prueba *Marcha*

En este caso, se observa como han desaparecido los excesos de tensiones en la parte delantera y trasera de la estructura. Además, las tensiones de las vigas laterales han descendido considerablemente, aunque todavía se mantienen dos zonas con exceso de tensión en la zona del apoyo del eje delantero y en la de la chapa de unión entre vigas laterales.

5.2.2.2.- Bastidor 1.1 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

Aplicando la prueba *Barra antivuelco vertical* al bastidor 1.1 (ver figura 5.13), se obtiene un factor de seguridad $n=2,3$, por lo que supera la prueba gracias a los elementos añadidos.

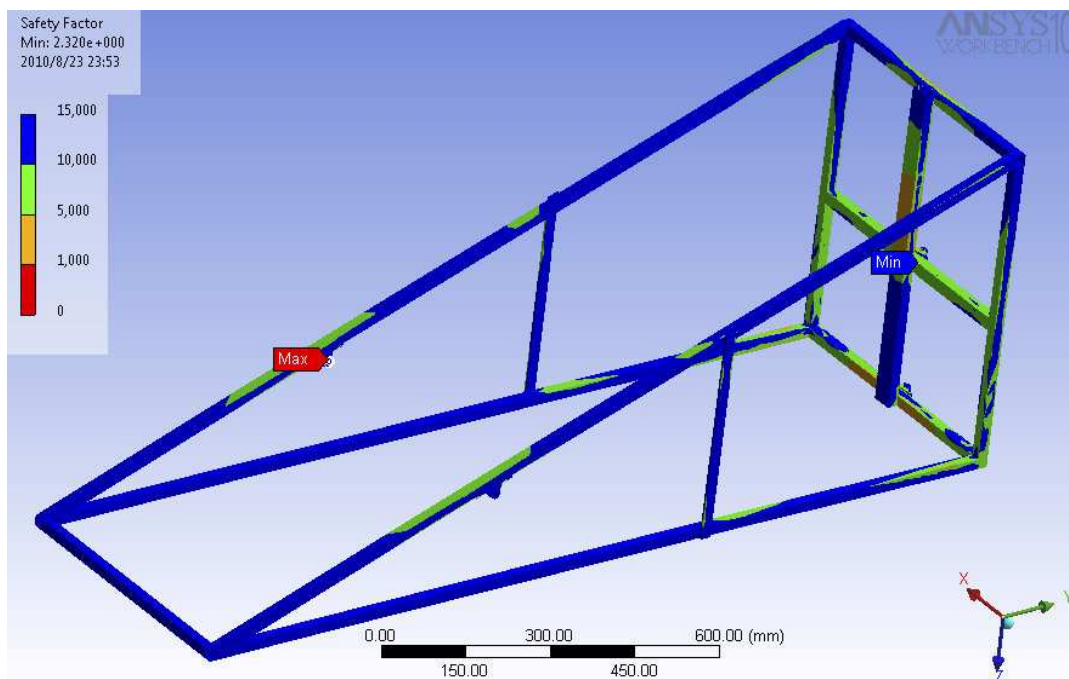


Figura 5.13 Bastidor 1.1 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

5.2.2.3.- Bastidor 1.1 en la prueba *Barra antivuelco horizontal*

La primera versión de la estructura, el bastidor 1.0, supera holgadamente la prueba *Barra antivuelco horizontal*, por tanto, en su evolución, el bastidor 1.1, solo cabe esperar mejores resultados, así que no se analiza.

5.2.3.- Bastidor 1.2

Tal y como se aprecia en la figura 5.12, en el bastidor 1.1 siguen quedando dos zonas de tensiones excesivas durante la prueba *Marcha*. Dichas tensiones están situadas en la zona del apoyo del eje delantero y en la zona de la chapa de unión entre vigas laterales. Por otro lado, las tensiones provocadas por el peso del piloto sobre las vigas laterales inferiores se han reducido hasta niveles muy por debajo del límite establecido en la prueba *Marcha*, por lo que, para la construcción del bastidor 1.2 (ver figura 5.14) se modifica la chapa añadida en el bastidor 1.1, adelantando la misma aún a costa de empeorar las tensiones en las vigas laterales inferiores, con el objeto de mejorar los resultados en las vigas laterales superiores.

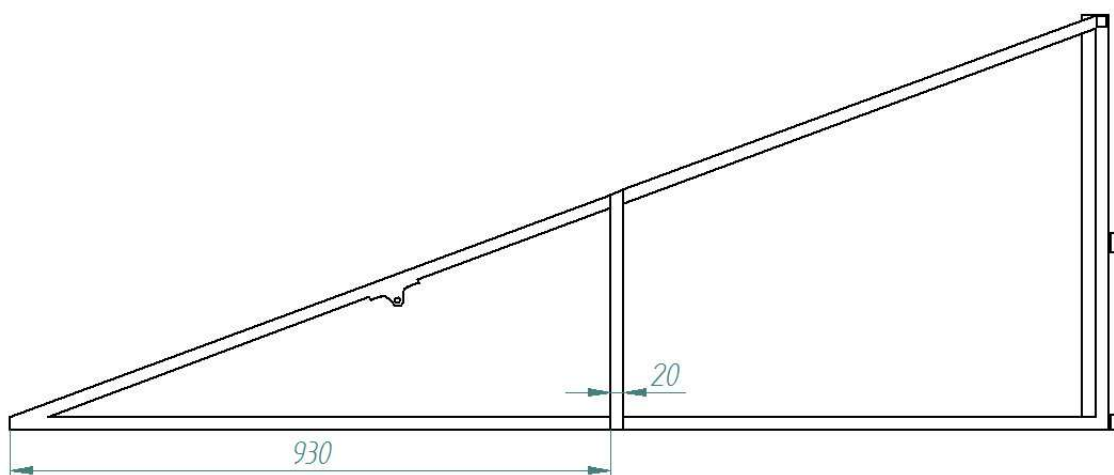


Figura 5.14 Bastidor 1.2

5.2.3.1.- Bastidor 1.2 en la prueba *Marcha*

Con los resultados obtenidos de la prueba *Marcha* en el bastidor 1.2 mostrados en la figura 5.15, se puede observar que, de nuevo, bajan los niveles de tensiones en las vigas laterales superiores, aunque han crecido levemente en la parte posterior de las vigas laterales inferiores.

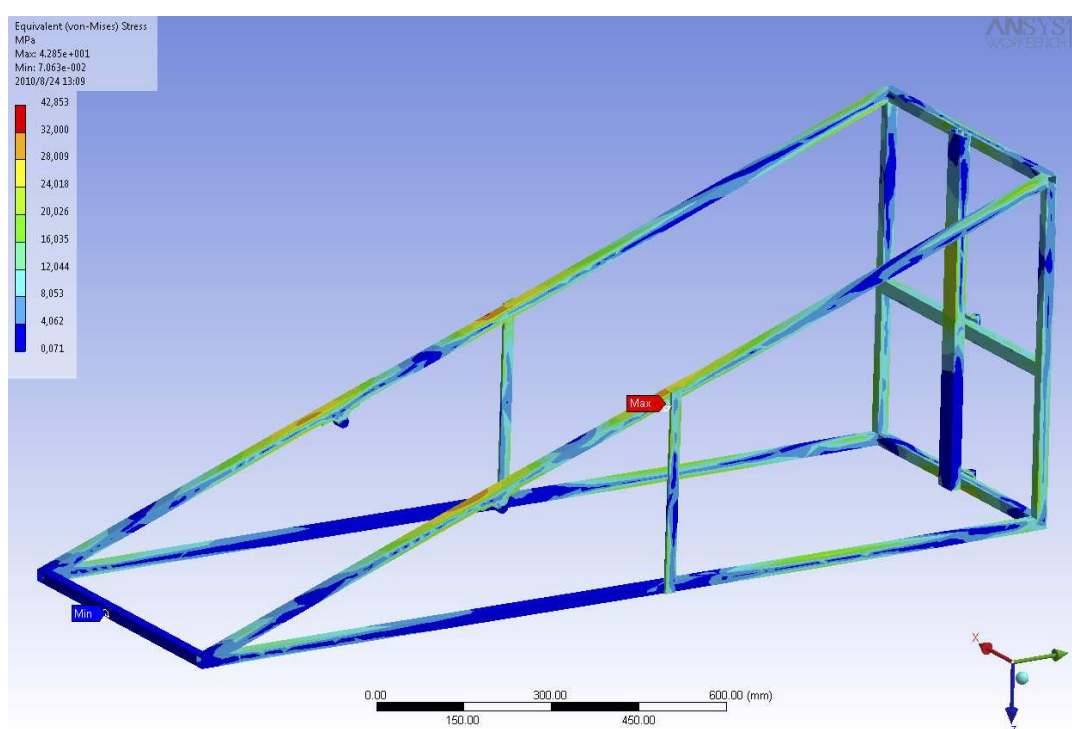


Figura 5.15 Bastidor 1.2 en la prueba *Marcha*

5.2.3.2.- Bastidor 1.2 en las pruebas de la barra antivuelco

Las pruebas relacionadas con la barra antivuelco, *Barra antivuelco vertical* y *Barra antivuelco horizontal*, siguen manteniendo para el bastidor 1.2 niveles de tensión admisibles, por tanto, no es necesario analizar su comportamiento en estas pruebas.

5.2.4.- Bastidor 1.3

Ante la notable mejoría que supone adelantar la chapa que une las vigas laterales, para la construcción del bastidor 1.3 (ver figura 5.16), se adelanta más todavía su posición para analizar hasta que punto siguen disminuyendo las tensiones.

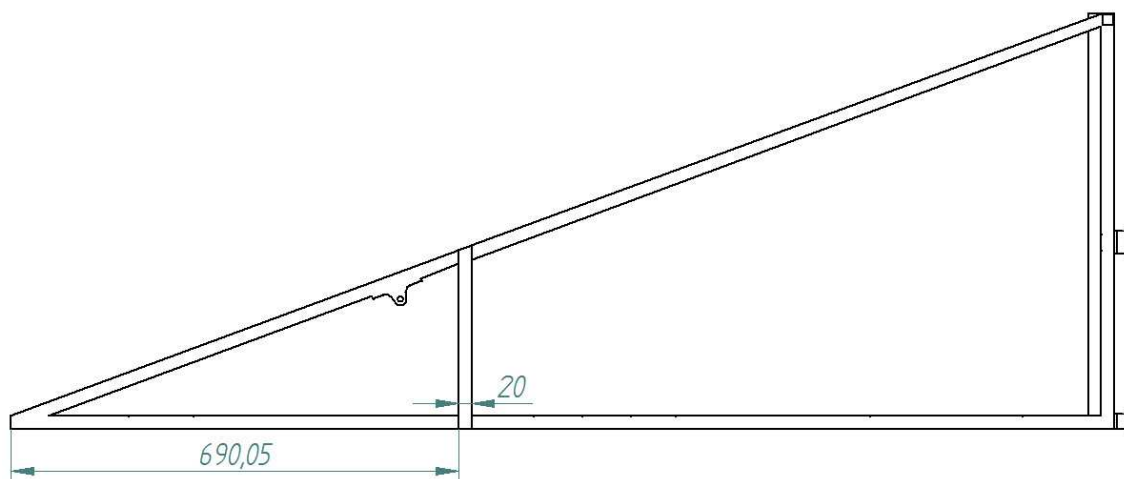


Figura 5.16 Bastidor 1.3

5.2.4.1.- Bastidor 1.3 en la prueba *Marcha*

Para analizar con mayor facilidad las tensiones del bastidor 1.3 durante la prueba *Marcha*, se dibujan (ver figura 5.17) únicamente las tensiones que superan el límite establecido para la prueba. Como se puede observar, han desaparecido por completo las tensiones excesivas de las vigas laterales superiores. Sin embargo, las tensiones en las vigas laterales inferiores han ascendido hasta sobrepasar el límite. En este caso se observa además, que se producen tensiones excesivas en las chapas de unión de las vigas laterales. Esto no supone una preocupación, ya que se pueden rediseñar más adelante y en este momento lo que se busca es rebajar el nivel de tensiones en la estructura principal.

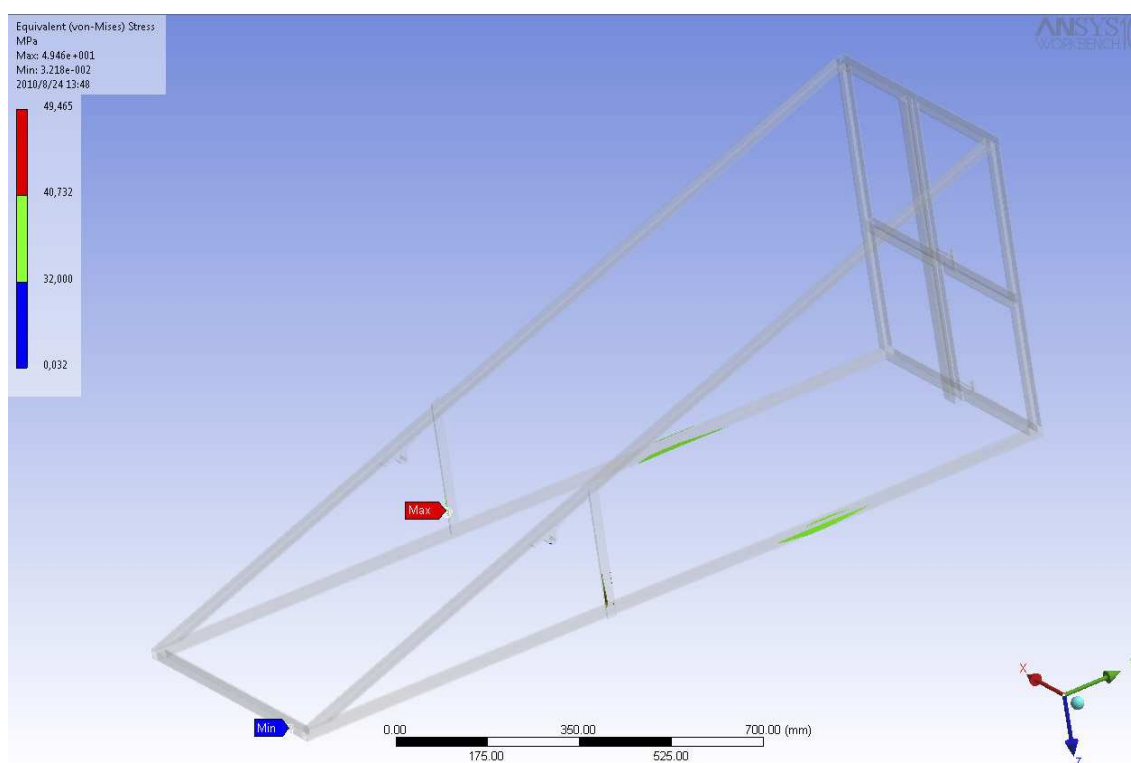


Figura 5.17 Bastidor 1.3 en la prueba *Marcha*

5.2.4.2.- Bastidor 1.3 en las pruebas de la barra antivuelco

Al igual que en las últimas versiones del diseño, las pruebas relacionadas con la barra antivuelco no suponen un problema, debido a que permanecen en niveles de tensiones aceptables.

5.2.5.- Bastidor 1.4

La disposición de la chapa que une las vigas laterales en el bastidor 1.3 ha supuesto la solución al problema de las tensiones en las vigas laterales superiores. Sin embargo, aparecen tensiones excesivas en las vigas laterales inferiores.

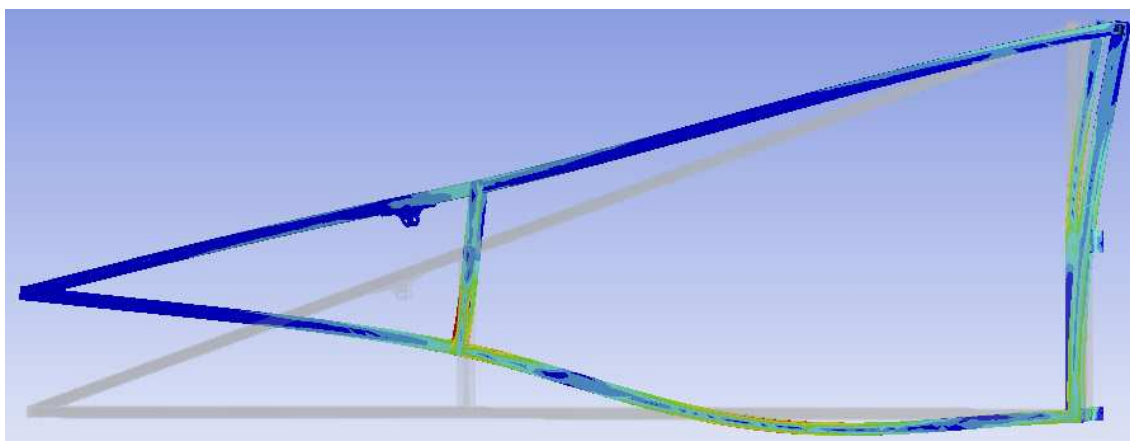


Figura 5.18 Deformación en el bastidor 1.3 en la prueba *Marcha*

Según se observa en la figura 5.18, que muestra el bastidor 1.3 sometido a la prueba *Marcha* con su deformación multiplicada por 20, la zona entre la chapa que une las vigas laterales y la parte trasera del bastidor sufre grandes deformaciones. Una posible solución a este problema es añadir otro elemento de unión entre las vigas laterales en dicha zona, lo que crea el bastidor 1.4. (ver figura 5.19).

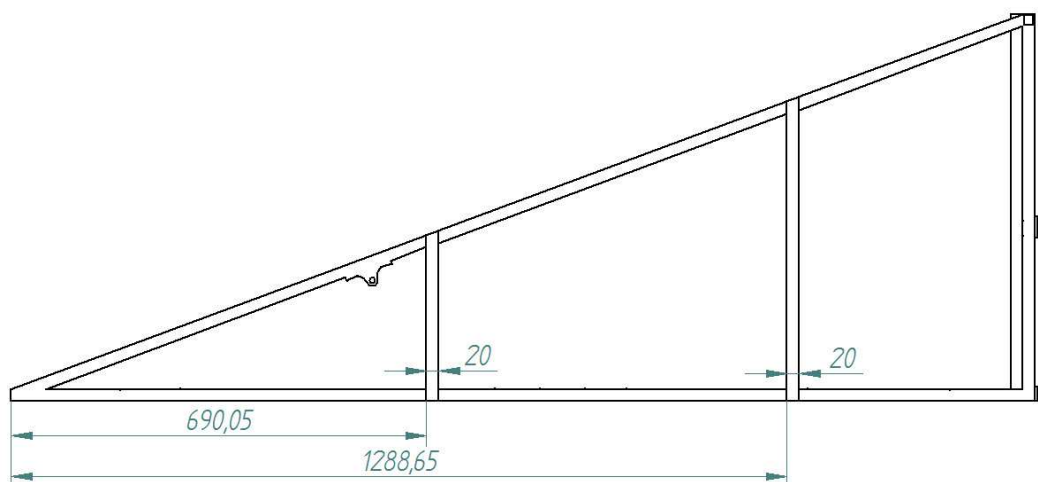


Figura 5.19 Bastidor 1.4

5.2.5.1.- Bastidor 1.4 en la prueba *Marcha*

Analizando las tensiones producidas en el bastidor 1.4 por las cargas de la prueba *Marcha* (ver figura 5.20), se constata que, con la nueva chapa añadida, desaparecen las tensiones excesivas en las vigas laterales inferiores. El único punto de tensión mayor que el límite se encuentra en la chapa delantera, la cual se puede rediseñar.

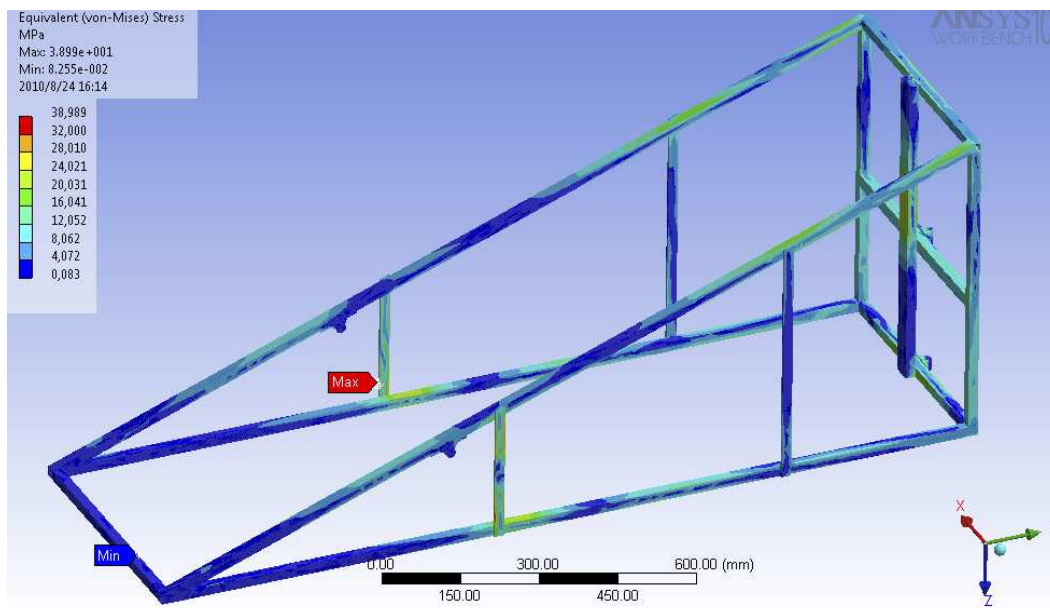


Figura 5.20 Bastidor 1.4 en la prueba *Marcha*

La solución adoptada en el bastidor 1.4 ha solucionado los problemas de tensiones en la estructura principal, pero a costa de añadir nuevos elementos que suponen más peso en el prototipo, así pues, aun teniendo una opción de bastidor válida, se sigue analizando la alternativa de emplear una única chapa de unión entre vigas laterales.

5.2.5.2.- Bastidor 1.4 en las pruebas de la barra antivuelco

Al igual que en las últimas versiones del diseño, las pruebas relacionadas con la barra antivuelco no suponen un problema, debido a que permanecen en niveles de tensiones aceptables.

5.2.6.- Bastidor 1.5

Volviendo a la opción de emplear una única chapa de unión entre vigas laterales, se crea el bastidor 1.5 (ver figura 5.21). En esta estructura, la chapa se encuentra ligeramente retrasada con respecto a la empleada en el bastidor 1.3. Por tanto, se trata de conseguir un efecto intermedio entre la acción de la chapa en los bastidores 1.2 y 1.3, es decir, llegar al punto donde se anulen las tensiones excesivas de las vigas laterales inferiores y superiores de la estructura.

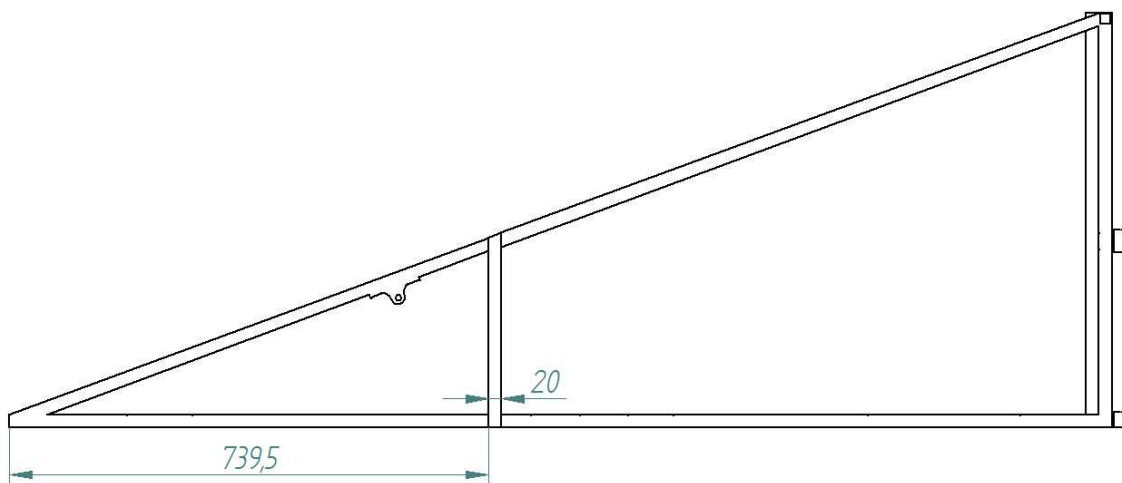


Figura 5.21 Bastidor 1.5

5.2.6.1.- Bastidor 1.5 en la prueba *Marcha*

Según se aprecia en la figura 5.22, los resultados de la prueba *Marcha* sobre el bastidor 1.5 muestran cómo las únicas tensiones excesivas que sufre, se producen en las vigas laterales inferiores y en las vigas centrales de unión con las tres vigas transversales traseras.

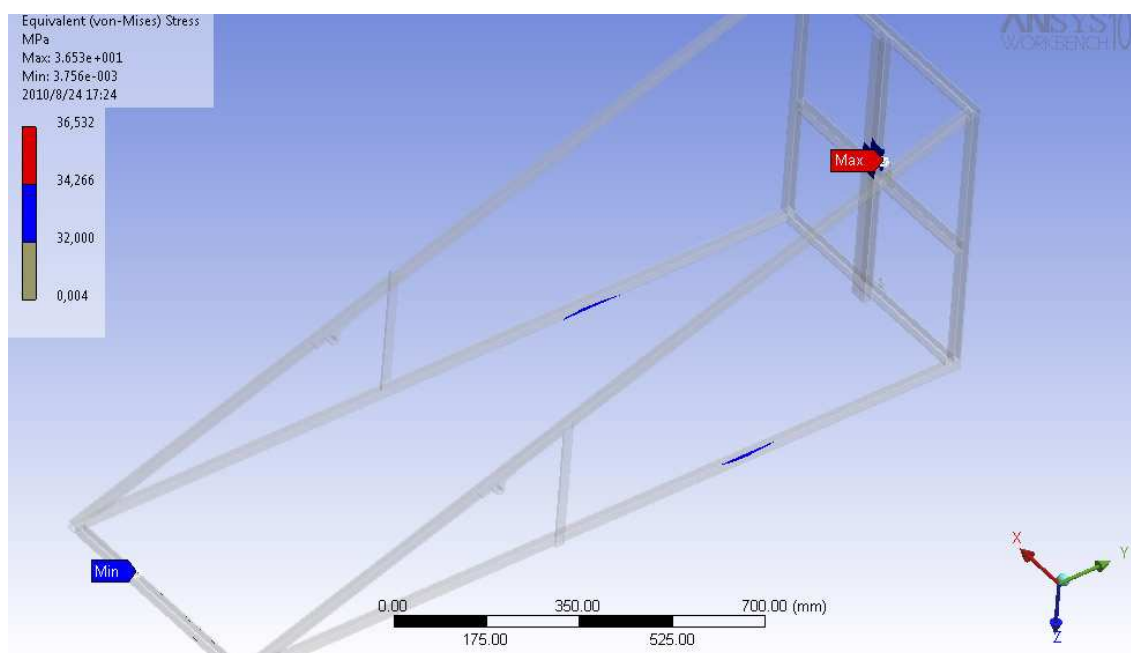


Figura 5.22 Bastidor 1.5 en la prueba *Marcha*

5.2.6.2.- Bastidor 1.5 en las pruebas de la barra antivuelco

Al igual que en las últimas versiones del diseño, las pruebas relacionadas con la barra antivuelco no suponen un problema, debido a que permanecen en niveles de tensiones aceptables.

5.2.7.- Bastidor 1.6

Siguiendo con la búsqueda de la posición ideal para las chapas de unión de las vigas laterales, se prueba la utilización de una posición algo más retrasada para el bastidor 1.6 (ver figura 5.23) respecto de la posición en el bastidor 1.5. Además, se añade una viga pegada a la que ya soporta el enganche superior con la parte trasera, para disminuir las tensiones en esta zona.

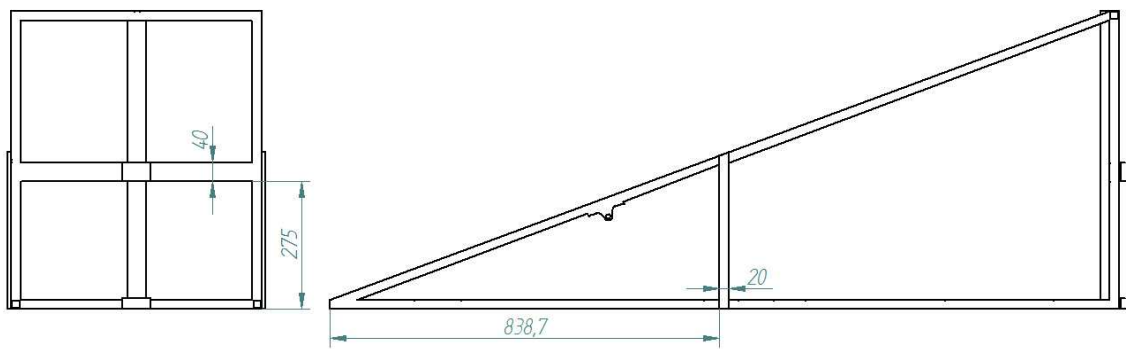
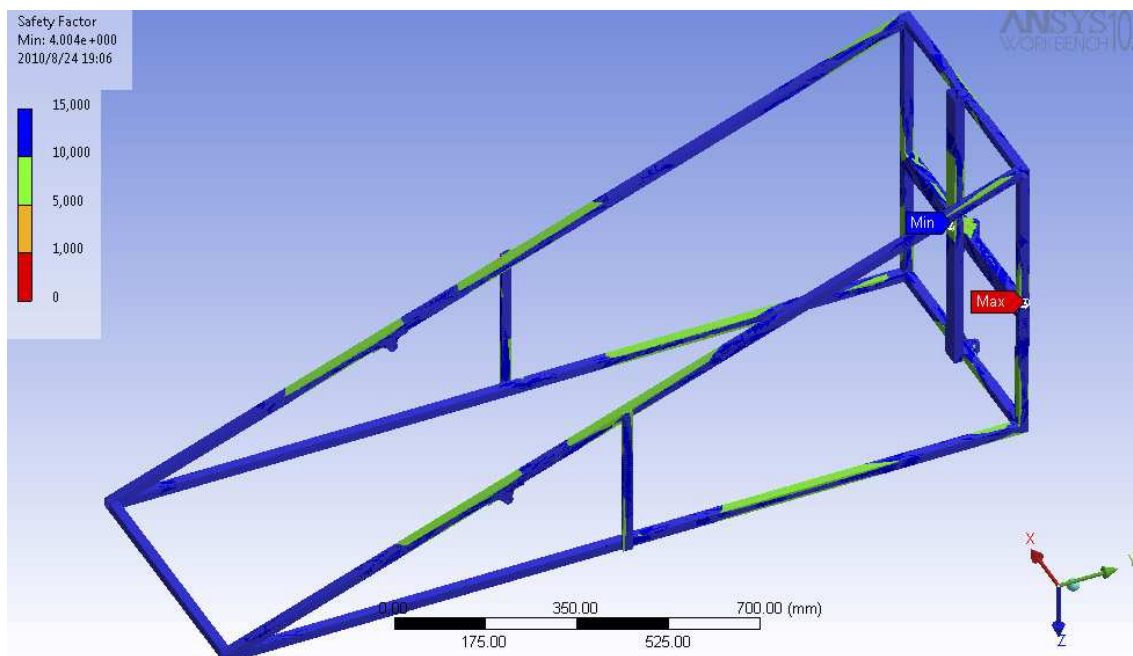


Figura 5.23 Bastidor 1.6

5.2.7.1.- Bastidor 1.6 en la prueba *Marcha*

Finalmente se obtiene un bastidor válido, ya que, como se puede observar en la figura 5.24, el factor de seguridad en el bastidor 1.6, al aplicarle las cargas de la prueba *Marcha*, es de $n=4,0$, suficiente para el factor de $n=4$ establecido para la prueba.

Figura 5.24 Bastidor 1.6 en la prueba *Marcha*

5.2.7.2.- Bastidor 1.6 en las pruebas de la barra antivuelco

De nuevo, las pruebas relacionadas con la barra antivuelco no suponen un problema, debido a que permanecen en niveles de tensiones aceptables.

5.2.7.3.- Resultados finales del bastidor 1.6

El bastidor 1.6 es el primer modelo de bastidor válido conseguido, ya que supera los factores de seguridad establecidos para las pruebas. A modo de resumen, se muestran en la tabla 5.4 los factores de seguridad obtenidos por el bastidor 1.6 en las distintas pruebas y su masa total.

Bastidor 1.6		
Factor de seguridad en las pruebas	Marcha (f.d.s. mínimo n=4)	4,0
	Antivuelco vertical (f.d.s. mínimo n=2)	2,5
	Antivuelco horizontal (f.d.s. mínimo n=2)	15
Masa		5,1451 kg

Tabla 5.4 Resultados del bastidor 1.6

5.2.8.- Bastidor 2.0

Atendiendo a lo observado durante el diseño y análisis de las distintas versiones del bastidor 1, se crea el bastidor 2.0, en el cual se trata de reducir peso respecto al primero, y a la vez conseguir mejores niveles de tensiones.

Para este segundo modelo principal de bastidor (ver figura 5.25) se opta por modificar la disposición de la viga lateral superior, que en este caso pasa por debajo del eje delantero.

Además, se añaden las dos vigas verticales que unen las vigas transversales traseras por su parte central, al igual que las incluidas en el bastidor 1.1.

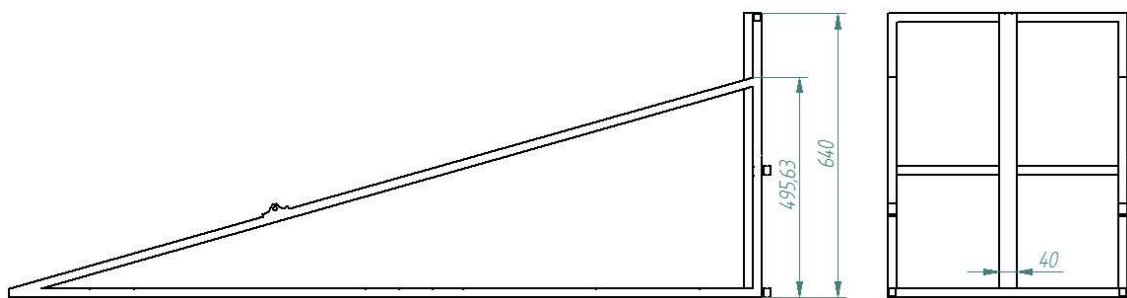


Figura 5.25 Bastidor 2.0

5.2.8.1.- Bastidor 2.0 en la prueba *Marcha*

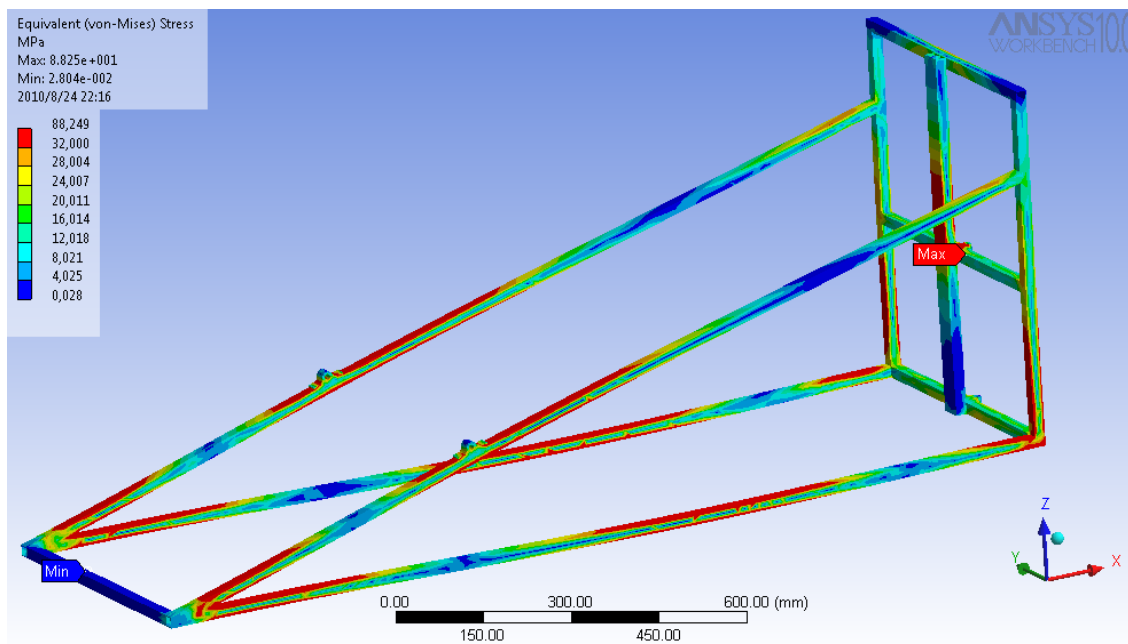


Figura 5.26 Bastidor 2.0 en la prueba *Marcha*

Se introducen sobre el bastidor 2.0 las cargas de la prueba *Marcha*, obteniendo los resultados mostrados en la figura 5.26, donde se observa que las zonas con tensiones por encima del límite establecido para la prueba, son similares a las del bastidor 1.0 en la misma prueba. El coeficiente de seguridad alcanzado es de $n= 1,5$.

5.2.8.2.- Bastidor 2.0 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

Para la prueba *Barra antivuelco vertical* ver figura 5.27, se obtiene un factor de seguridad de $n= 1,5$, por tanto se sobrepasan, en la zona de la unión superior con la parte trasera, los 65 MPa establecidos para esta prueba.

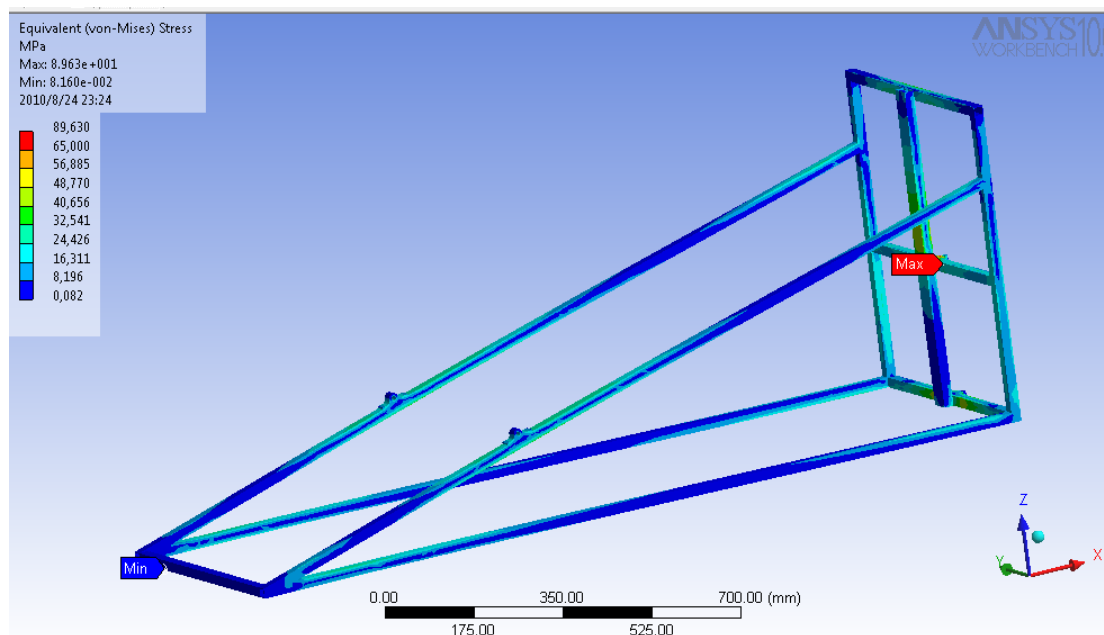


Figura 5.27 Bastidor 2.0 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

5.2.8.3.- Bastidor 2.0 en la prueba *Barra antivuelco horizontal*

Del mismo modo que ocurre con todas las versiones de bastidores, en la prueba *Barra antivuelco horizontal* se obtiene un factor de seguridad relativamente alto, que para el bastidor 2.0 es de $n=10,0$.

5.2.9.- Bastidor 2.1

Observando que los problemas de tensiones del bastidor 2.0 son similares a los del bastidor 1.0, se añaden a la nueva estructura (ver figura 5.28) chapas de unión entre vigas laterales, en la misma posición que se montan en el bastidor 1.6. Además, se adhiere a la viga que soporta la unión superior con la parte trasera, otra viga de las mismas dimensiones a fin de solucionar los problemas de tensiones en esta zona.

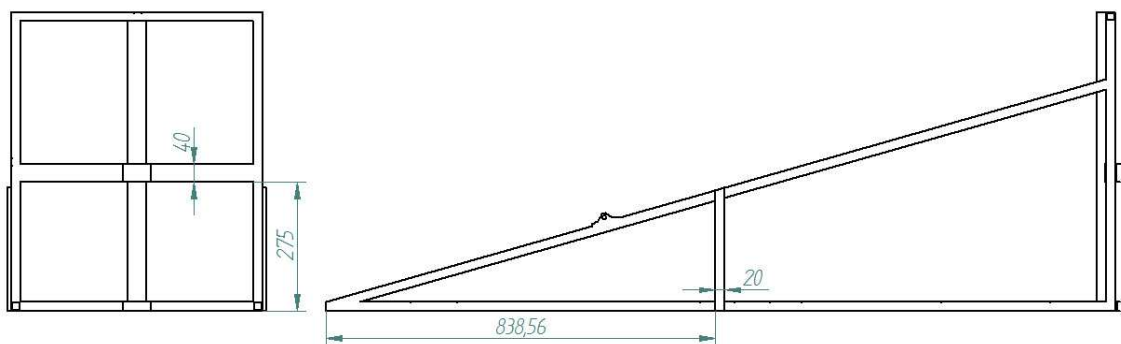


Figura 5.28 Bastidor 2.1

5.2.9.1.- Bastidor 2.1 en la prueba *Marcha*

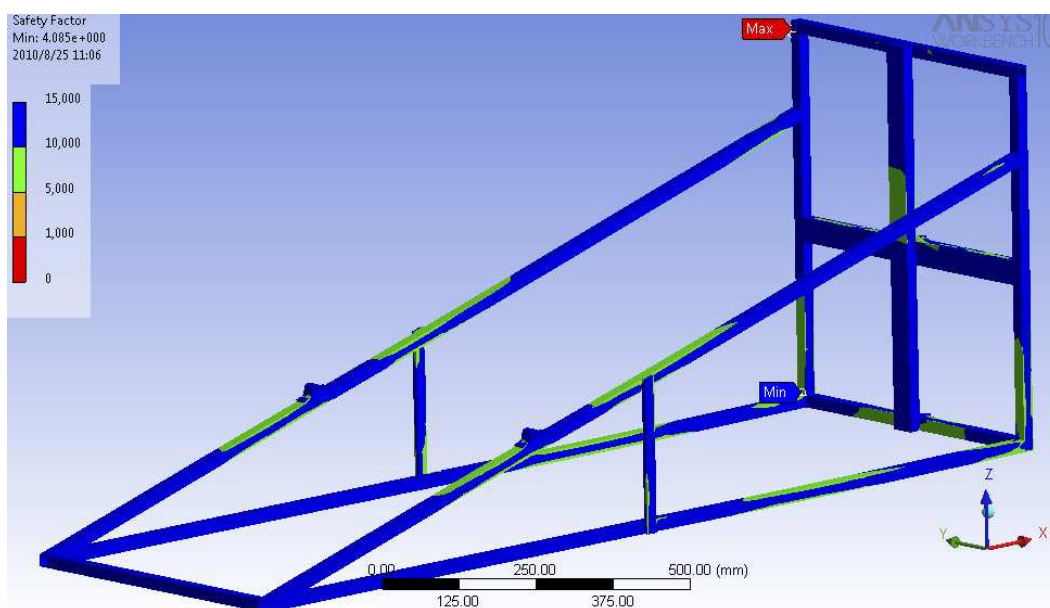


Figura 5.29 Bastidor 2.1 en la prueba *Marcha*

Los resultados de aplicar las cargas de la prueba *Marcha* al bastidor 2.1 (ver figura 5.29) muestran un factor de seguridad $n=4,1$, por lo que supera dicha prueba.

5.2.9.2.- Bastidor 2.1 en las pruebas de la barra antivuelco

Como comprobación final de la evolución del segundo modelo de bastidor, se introduce en las pruebas *Barra antivuelco vertical* (ver figura 5.30), obteniendo un factor de seguridad $n=3,0$ y *Barra antivuelco horizontal* (ver figura 5.31), donde el factor de seguridad resultante es de $n=10,8$.

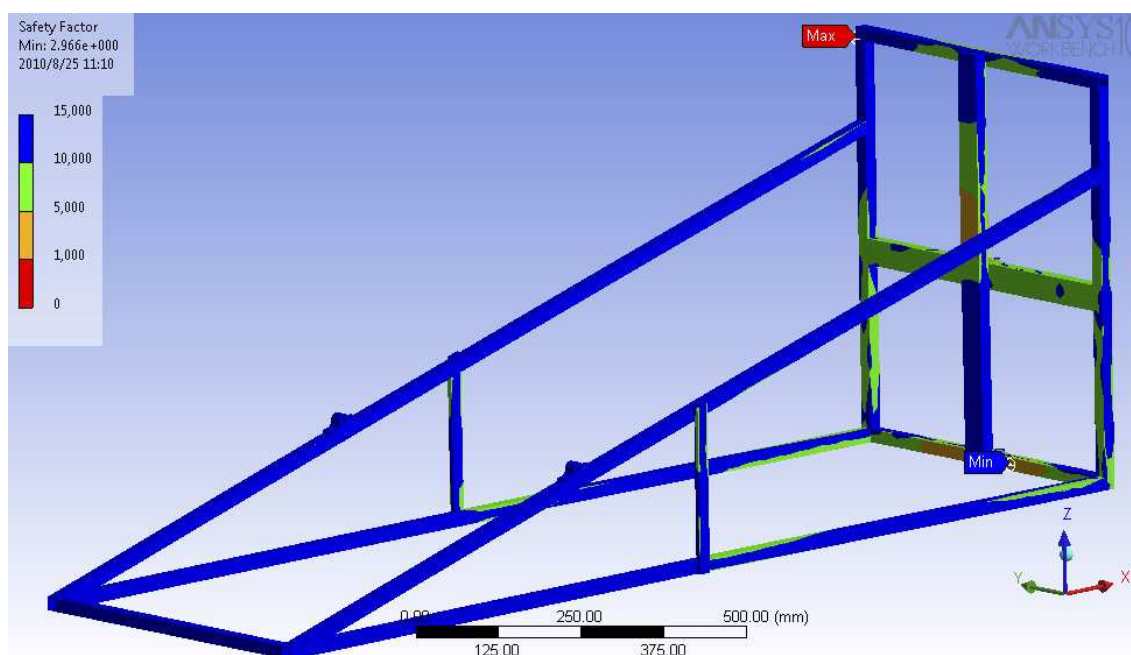


Figura 5.30 Bastidor 2.1 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

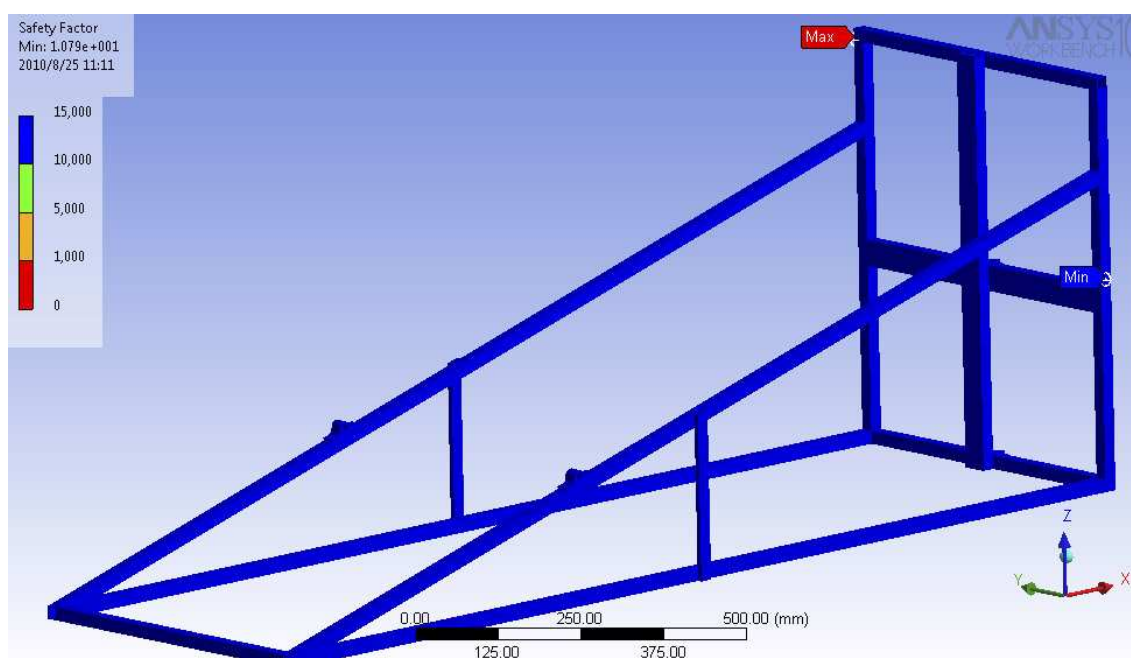


Figura 5.31 Bastidor 2.1 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

5.2.9.3.- Resultados finales del bastidor 2.1

Con el bastidor 2.1, se consigue el segundo modelo de bastidor válido, ya que supera los factores de seguridad establecidos para las pruebas. A modo de resumen, se muestran en la tabla 5.5 los factores de seguridad obtenidos por el bastidor 2.1 en las distintas pruebas y su masa total.

Bastidor 2.1		
Factor de seguridad en las pruebas (mínimo)	Marcha (f.d.s. mínimo n=4)	4,1
	Antivuelco vertical (f.d.s. mínimo n=2)	3,0
	Antivuelco horizontal (f.d.s. mínimo n=2)	10,8
Masa		4,9697 kg

Tabla 5.5 Resultados del bastidor 2.1

5.2.10.- Bastidor 3.0

Para el diseño del tercer modelo de bastidor (ver figura 5.32), se opta por la alternativa de reducir la altura del punto de unión de las vigas laterales superiores con la parte trasera, lo cual obliga a dividir dicha viga en dos segmentos, para mantener la misma unión con el eje delantero. Además, teniendo en cuenta tras recordar los resultados de las pruebas realizadas a los bastidores creados con antelación, se añade una chapa de unión entre las vigas laterales, similar a la empleada en el bastidor 1.6. También se añade otra una viga transversal, pegada a la que soporta la unión superior con la parte trasera del prototipo.

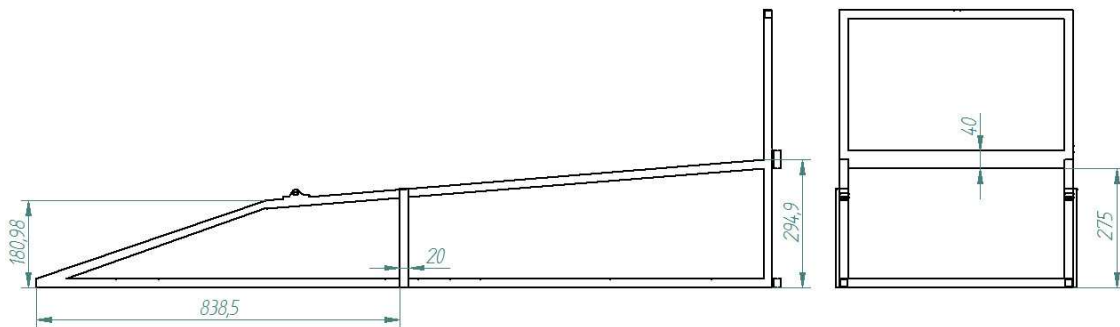


Figura 5.32 Bastidor 3.0

5.2.10.1.- Bastidor 3.0 en la prueba *Marcha*

Se introduce el bastidor 3.0 en la prueba *Marcha*, alcanzando un factor de seguridad de $n=2,8$ (ver figura 5.33).

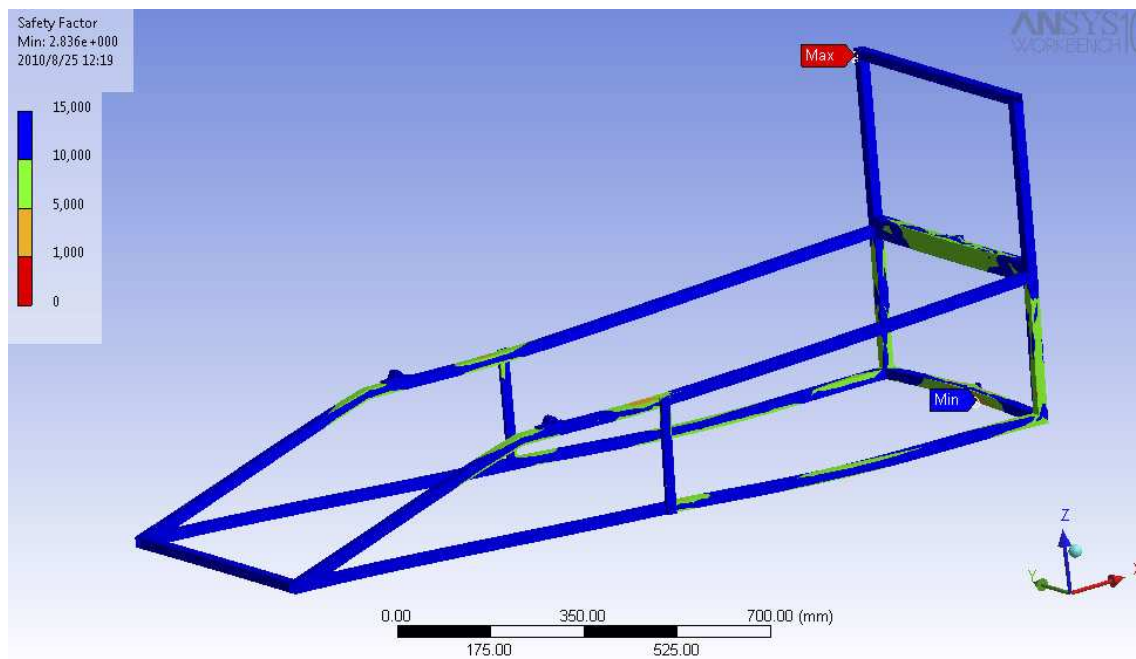


Figura 5.33 Bastidor 3.0 en la prueba *Marcha*

5.2.10.2.- Bastidor 3.0 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

Para la prueba *Barra antivuelco vertical* el factor de seguridad obtenido es de $n=1,5$.

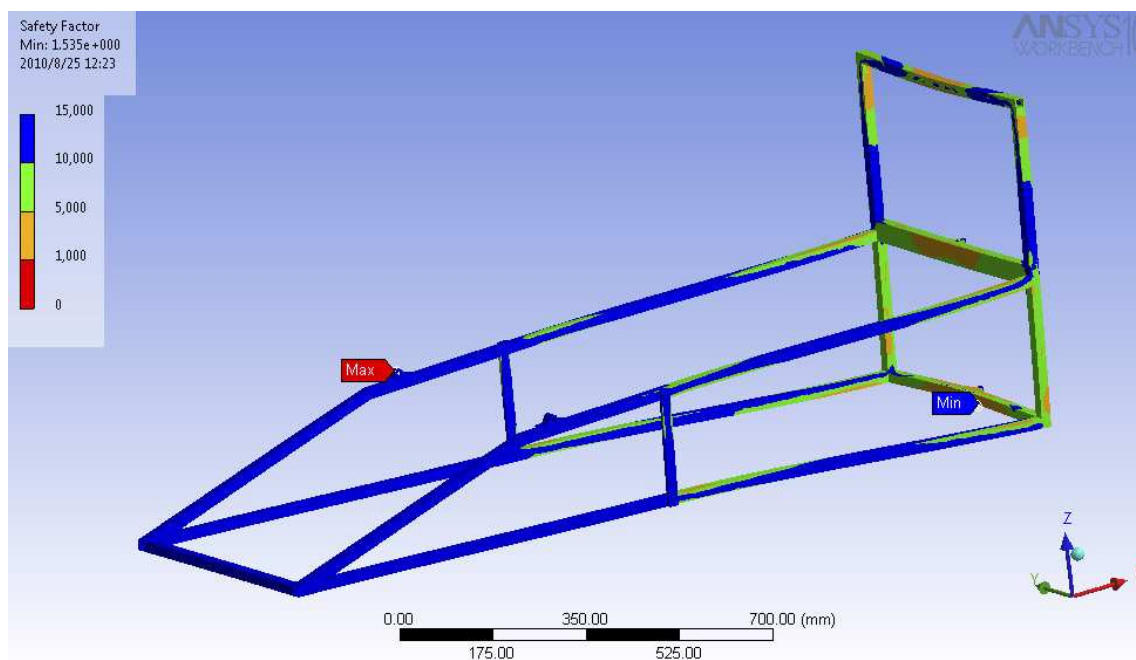


Figura 5.34 Bastidor 3.0 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

5.2.10.3.- Bastidor 3.0 en la prueba *Barra antivuelco horizontal*

Para la prueba *Barra antivuelco horizontal*, el factor de seguridad obtenido es de $n=14,5$.

5.2.11.- Bastidor 3.1

Con el objetivo de subsanar las deficiencias de la versión 3.0, se diseña el bastidor 3.1 (ver figura 5.35), en el que se sitúa otra viga pegada a la que soporta la unión inferior con la parte trasera del prototipo. Además, se modifica la chapa de unión entre vigas, ensanchándola e inclinándola.

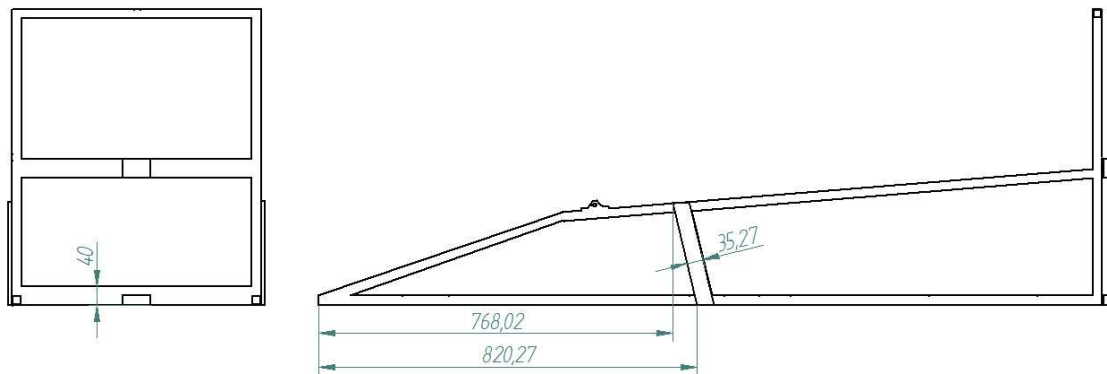


Figura 5.35 Bastidor 3.1

5.2.11.1.- Bastidor 3.1 en la prueba *Marcha*

Los resultados de aplicar las cargas de la prueba *Marcha* al bastidor 3.1 (ver figura 5.36) muestran un factor de seguridad $n=4,1$. En consecuencia, supera dicha prueba.

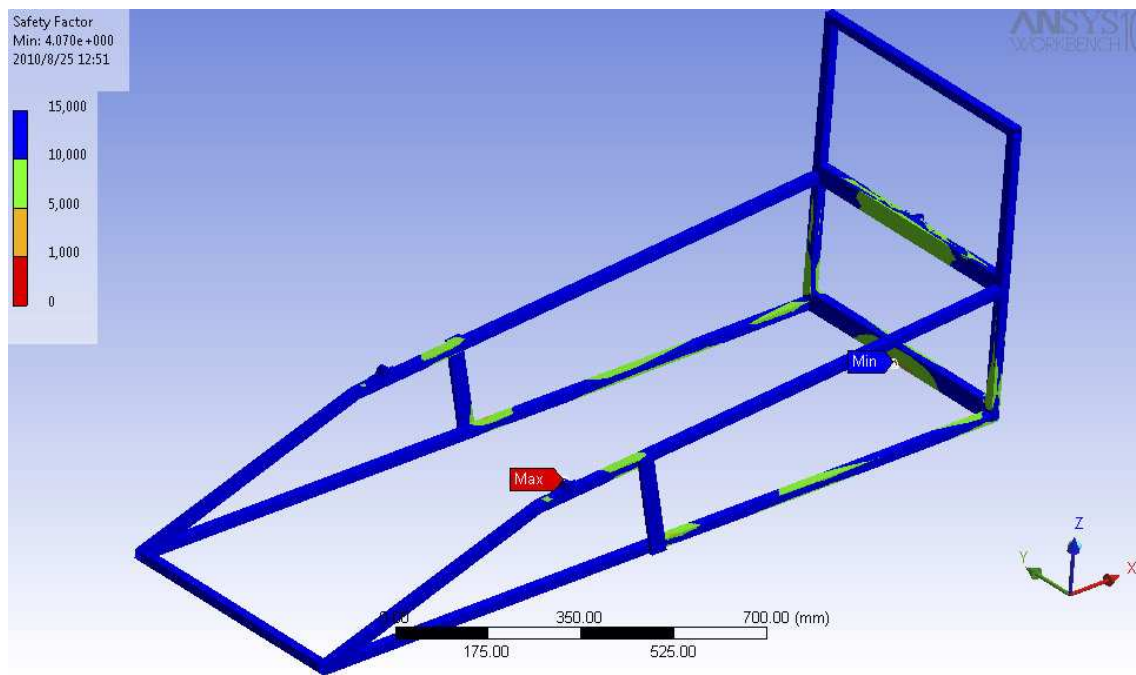


Figura 5.36 Bastidor 3.1 en la prueba *Marcha*

5.2.11.2.- Bastidor 3.1 en las pruebas de la barra antivuelco

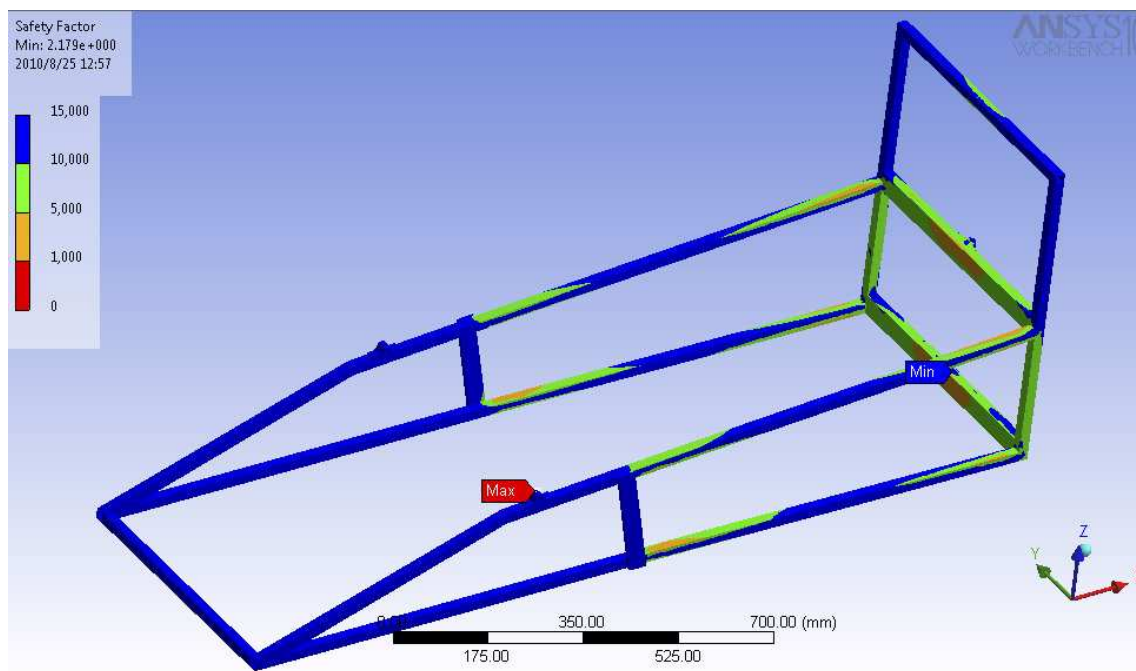


Figura 5.37 Bastidor 3.1 en la prueba *Barra antivuelco vertical*

Como verificación final en la evolución del tercer modelo de bastidor, se introduce en las pruebas *Barra antivuelco vertical* (ver figura 5.37), obteniendo un factor de seguridad $n=2,2$ y *Barra antivuelco horizontal* (ver figura 5.38), donde el factor de seguridad resultante es de $n=12,7$.

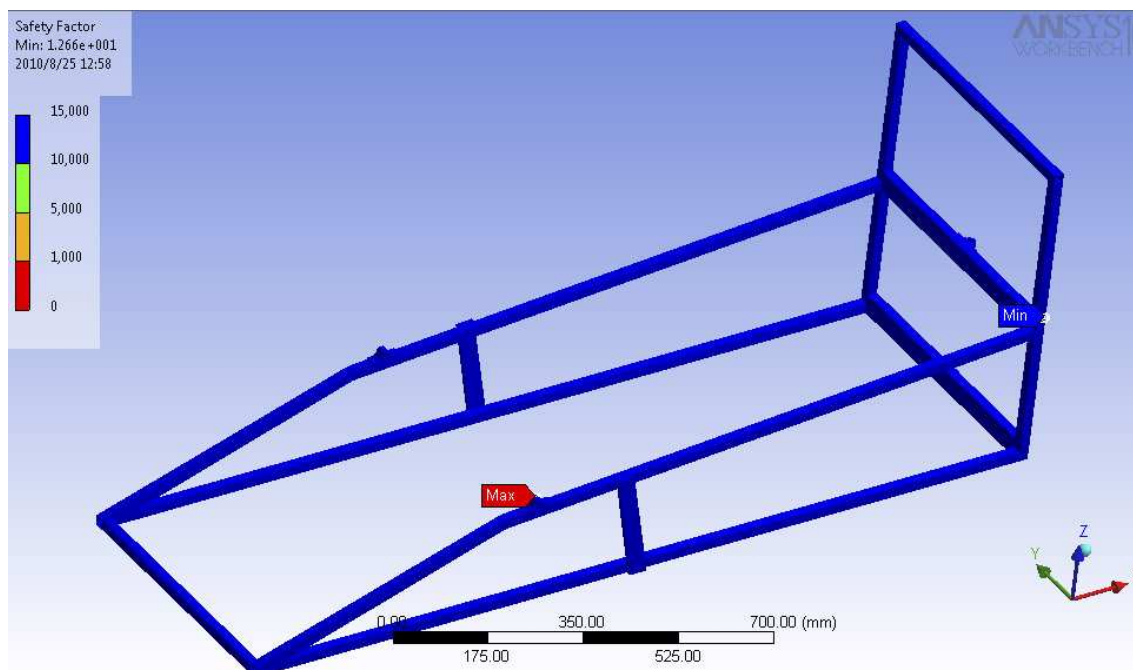


Figura 5.38 Bastidor 3.1 en la prueba *Barra antivuelco horizontal*

5.2.11.3.- Resultados finales del bastidor 3.1

Finalmente, se obtiene el tercer modelo de bastidor válido, el bastidor 3.1, que supera los factores de seguridad establecidos para las pruebas. A modo de resumen, se muestran en la tabla 5.6 los factores de seguridad obtenidos por el bastidor 3.1 en las distintas pruebas y su masa total.

Bastidor 3.1		
Factor de seguridad en las pruebas (mínimo)	Marcha (f.d.s. mínimo $n=4$)	4,1
	Antivuelco vertical (f.d.s. mínimo $n=2$)	2,2
	Antivuelco horizontal (f.d.s. mínimo $n=2$)	12,7
Masa		5,117 kg

Tabla 5.6 Resultados del bastidor 3.1

5.3.- Elección del modelo de bastidor

Concluido el diseño de tres modelos diferentes de bastidor válidos (ver figura 5.39), solo queda elegir el más apropiado para el prototipo destinado a competir en la Shell Eco-Marathon.

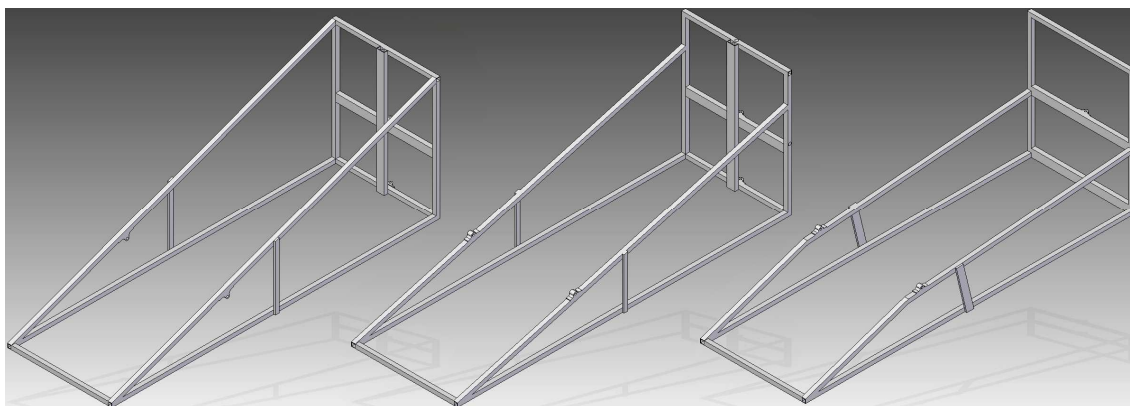


Figura 5.39 De izquierda a derecha bastidor 1.6, bastidor 2.1 y bastidor 3.1

Comparando los resultados de los tres modelos de bastidor desarrollados, mostrados en la tabla 5.6, se observa como, aun siendo valores cercanos, el **bastidor 2.1** es el que muestra mejores resultados en los coeficientes de seguridad y en la masa, siendo este último el factor más importante en la elección del modelo final, por tanto es el modelo elegido.

Bastidor		1.6	2.1	3.1
Factor de seguridad en las pruebas (mínimo admisible)	Marcha (f.d.s. mínimo n=4)	4,0	4,1	4,1
	Antivuelco vertical (f.d.s. mínimo n=4)	2,5	3,0	2,2
	Antivuelco horizontal (f.d.s. mínimo n=4)	15	10,8	12,7
Masa		5,1451 kg	4,9697 kg	5,117 kg

Tabla 5.6 Bastidor 1.0

5.4.- Comprobaciones finales

Una vez elegido el diseño final de bastidor, es necesario efectuar ciertas comprobaciones, no realizadas durante el proceso de selección.

La primera ellas, consiste en realizar la prueba *Marcha* de nuevo sobre el bastidor 2.1, añadiendo su propio peso. Para ello, se introduce en el modelo de Ansys el efecto de la gravedad sobre el modelo, y se suma a la reacción en el eje delantero, la que produce el peso del bastidor. Dicha reacción se calcula a través del diagrama de la figura 5.40, donde aparece la distancia de la reacción en el eje delantero y del centro de masas del bastidor al punto A.

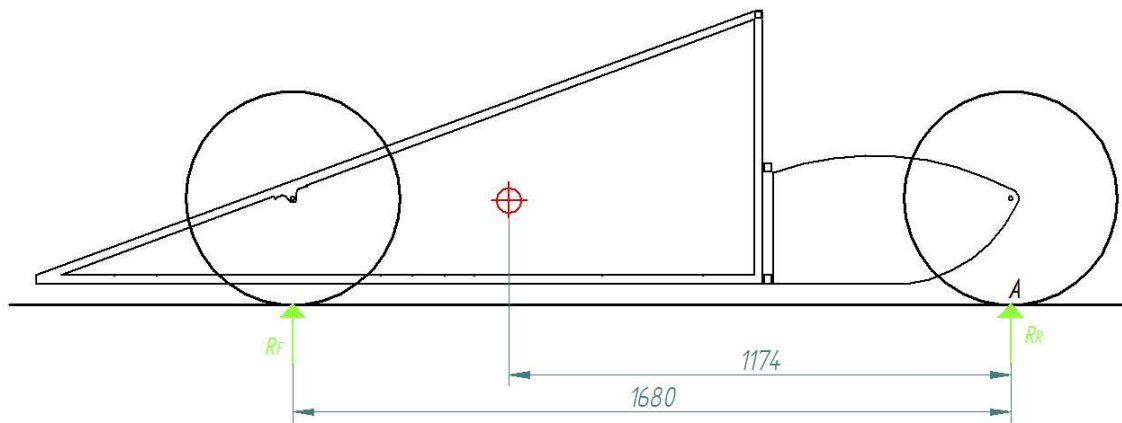


Figura 5.40 Posición del CDM del bastidor 2.1

Para resolver el sistema de fuerzas de la figura 5.40, se calcula el sumatorio de momentos que generan todas las fuerzas sobre el punto A, el cual expresa la siguiente ecuación.

$$R_F \cdot d_{F-A} + P_{Bastidor} \cdot d_{CDM-A} = 0$$

Ecuación 5.3

Donde:

- R_F es la reacción en el eje delantero.
- d_{F-A} es la batalla del prototipo.
- $P_{Bastidor}$ es el peso del bastidor.
- d_{CDM-A} es la distancia horizontal entre el centro de masa del bastidor y el punto A.

Introduciendo el peso del bastidor 2.1 de $4,97 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = \mathbf{48,706 \text{ N}}$ en la ecuación 5.3, junto con las distancias mostradas en la figura 5.40, se puede despejar el valor de la reacción en el eje delantero, cuyo valor es de $34,0 \text{ N}$. Y como la reacción del eje delantero se aplica en sus dos apoyos, la fuerza a emplear en cada uno es la mitad, igual a $\mathbf{281 \text{ N}}$.

Obtenida la reacción en el eje delantero, solo queda sumar la mitad de dicha reacción a cada una de las reacciones del eje delantero. Consecuentemente, es preciso sustituir en el modelo creado de prueba *Marcha*, las reacciones en el eje delantero por las nuevas, cuyo valor es de $281+17= 298$ N.

De esta forma, se consideran en la prueba todas las cargas reales que sufrirá el prototipo durante la competición, cuyos resultados se pueden observar en la figura 5.41. Se obtiene un factor de seguridad $n= 4,1$, por lo que el bastidor 2.1 supera la prueba *Marcha* modificada.

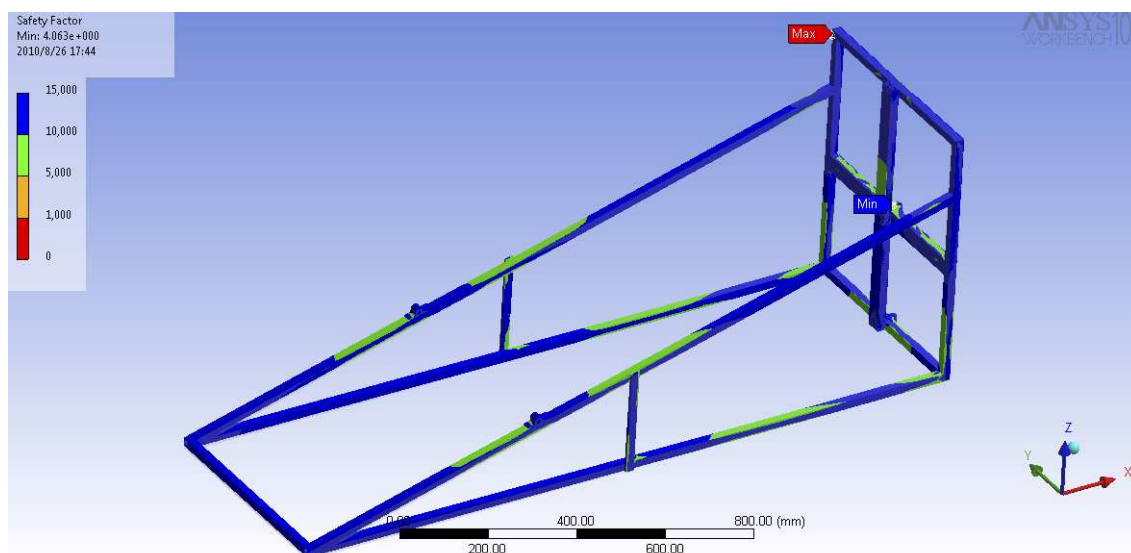


Figura 5.41 Bastidor 2.1 en prueba *Marcha final*

La última comprobación a efectuar sobre el modelo, consiste en analizar las modificaciones que podría sufrir el bastidor en caso de accidente. Conviene recordar que el piloto se encuentra dentro de una estructura metálica, y este tipo de estructura tiene tendencia a sufrir determinadas deformaciones en caso de accidente, que podrían herir gravemente al conductor.

La prueba a realizar simula el impacto contra un muro. Para ello, mediante Ansys, se introduce un empotramiento en la viga delantera y diversas fuerzas representando las que ejercerían la masa del piloto y de los demás elementos del prototipo en un impacto.

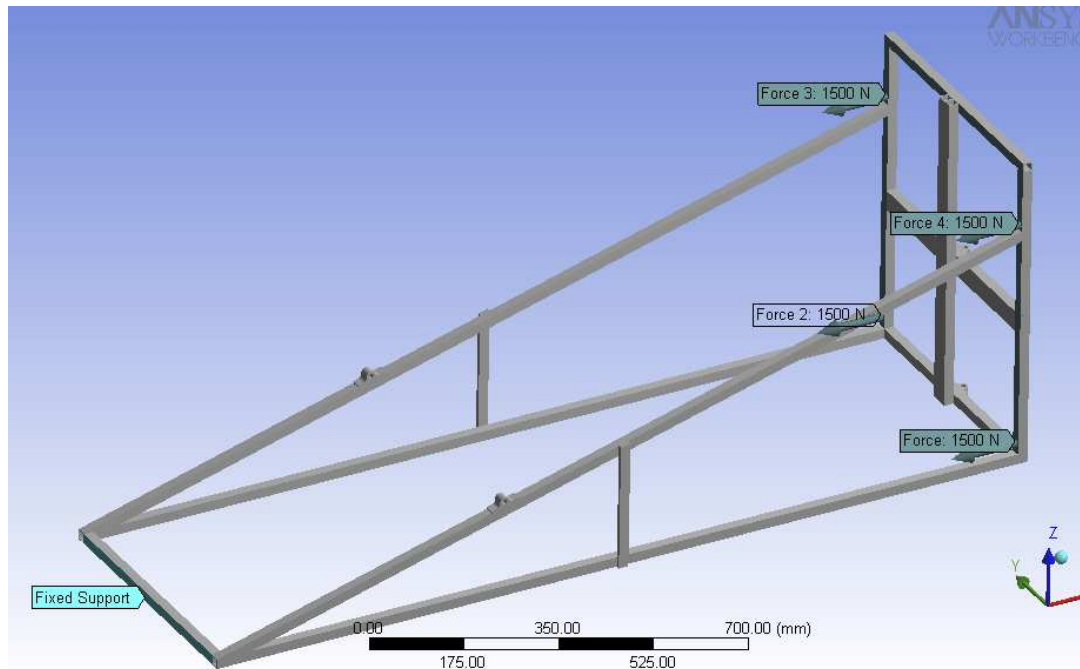


Figura 5.42 Prueba *Choque*

El siguiente paso es simular el modelo y multiplicar mediante Ansys las deformaciones del modelo para apreciar cual sería la trayectoria de los elementos de la estructura que se desplazan ante el impacto.

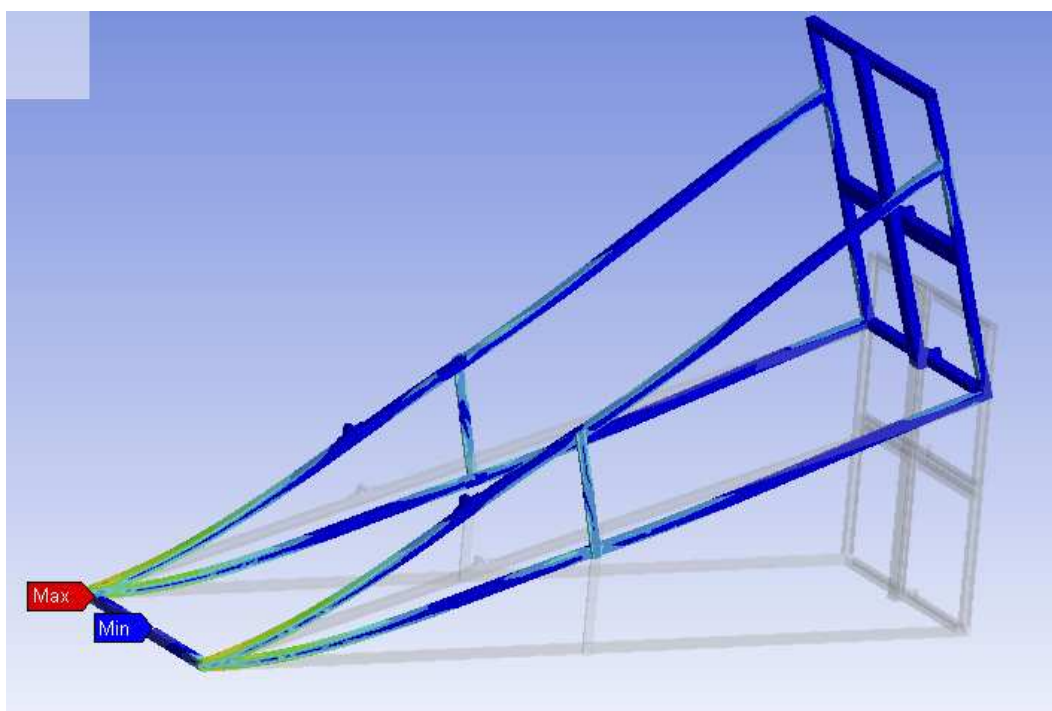


Figura 5.43 Bastidor 2.1 en prueba *Choque*

Tal y como se observa en la figura 5.43, la única deformación importante producida es una cierta curvatura, de la parte delantera del prototipo, hacia arriba, lo cual no pondría en riesgo la integridad del piloto.

5.5.- Construcción del bastidor

Después de haber diseñado y probado un modelo de bastidor, se rediseña, en este caso por partes, para montar en un conjunto. Además, es necesario definir las uniones, ya que, si bien el bastidor está pensado para ser soldado, donde serían óptimas las uniones, la primera construcción real prototipo se efectuará empleando remaches.

La única modificación que se efectúa sobre el modelo definitivo de bastidor es la división de la chapa que une las vigas laterales, en dos mitades que se colocan a ambos

lados de las vigas laterales, puesto que la unión con remaches requiere una mayor superficie de contacto.

5.5.1.- Identificación de los elementos que forman el bastidor.

En el anexo I se encuentra el plano número 1, donde se señalan los diversos elementos del bastidor 1.2 montado (ver figura 5.44).

El bastidor se compone de:

- Vigas laterales inferiores. Soportan el peso del piloto y están unidas a las vigas laterales superiores, a las chapas de unión entre vigas laterales y a las vigas laterales verticales.
- Vigas laterales superiores. Están conectadas con los soportes del eje delantero, las vigas laterales inferiores, las chapas de unión entre vigas y con las vigas laterales verticales.
- Vigas laterales verticales. Se unen con las vigas laterales inferiores, las vigas laterales superiores y con las vigas transversales medias.
- Viga transversal delantera. Conecta las vigas laterales inferiores de ambos lados.
- Viga transvesal inferior. Conecta conjuntamente las vigas laterales inferiores y laterales verticales de cada lado. Además se une con las vigas verticales medias.
- Viga transversal superior. Une las vigas laterales verticales de ambos lados.
- Vigas transversales medias. Soportan la unión superior con el eje trasero y se unen a las vigas laterales verticales de cada lado y a las vigas verticales medias.

- Vigas verticales medias. Se unen a las vigas transversales superior e inferior y a las vigas transversales medias.
- Chapas de unión entre vigas laterales. Conectan la viga lateral superior con la viga lateral inferior en ambos lados.
- Uniones con el eje delantero. Unen el eje delantero con las vigas laterales superiores.
- Unión superior con la parte trasera. Conecta el eje central directriz con la viga transversal media.
- Unión inferior con la parte trasera. Conecta el eje central directriz con la viga transversal inferior.

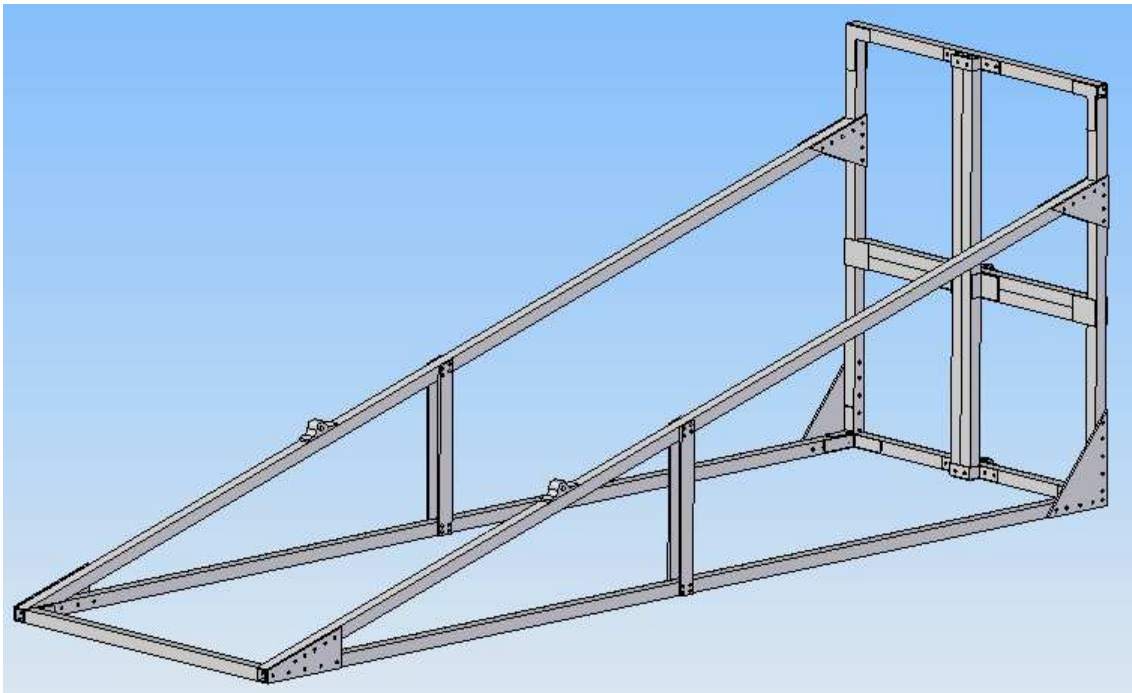


Figura 5.44 Bastidor 2.1 montado

5.5.2.- Ejecución

El conjunto del bastidor ensamblado mediante remaches se compone de segmentos de perfil de aluminio Simagaltok 63-T5 de sección 20x20 mm, chapas de espesores 2 y 4 mm y remaches de aluminio de 5 mm de diámetro del vástago y 9 y 15 mm de longitud del mismo.

La fabricación de todas las piezas del bastidor se hace de acuerdo a los planos incluidos en el anexo I.

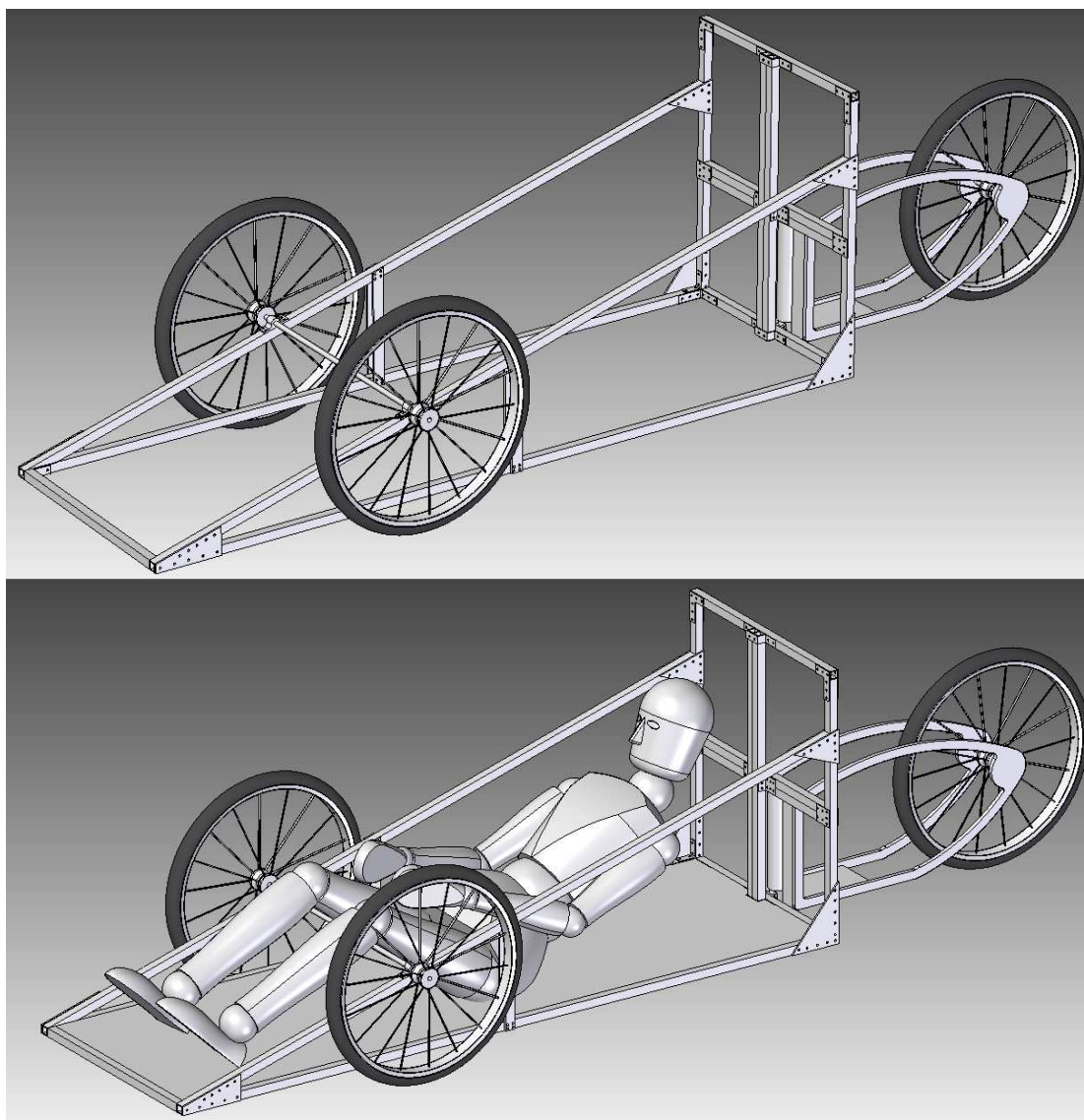


Figura 5.45 Estructura completa del prototipo-Estructura con modelo

Con el fin de permitir una visión más general del conjunto del prototipo, se ha realizado un diseño sencillo, mediante Solid Edge, del resto de piezas que componen la estructura del vehículo, así como de las ruedas y los ejes. El resultado final del conjunto montado, y con el modelo del piloto se ve en la figura 5.45.

5.6.- Instalación de elementos sobre el bastidor

Como cabe suponer, sobre el bastidor se montarán una serie de elementos, tales como el sistema de dirección, la carrocería, el asiento, etc... Es por tanto necesario tenerlo preparado y proporcionar las instrucciones oportunas, a fin de evitar que con la instalación de dichos elementos se debilite gravemente la estructura, manteniendo siempre los niveles de seguridad mínimos planteados a lo largo de todo su diseño.

5.6.1.- Anclajes

La sujeción de cualquier elemento al bastidor se efectuará con sistemas que no lo modifiquen, o en caso necesario, mediante remaches o tornillos de no más de 5 mm de diámetro, en dirección transversal, salvo para las vigas transversales, en las que la dirección del elemento de fijación debe ser vertical. Y todo ello, evitando siempre las zonas marcadas en verde en la figura 5.29.

Para el anclaje de elementos que ejerzan fuerzas sobre la estructura de más de 80 N ($\approx 8\text{kg}$) será necesario volver a efectuar el estudio sobre las cargas en el bastidor.

5.6.2.- Sistema de frenado

Entre los elementos a montar sobre el bastidor delantero del prototipo, el sistema de frenado es de los que producen mayores fuerzas sobre el mismo. Consecuentemente, se

analiza su influencia sobre la estructura, pues una buena colocación de este sistema puede resultar incluso beneficiosa.

Considerando que una de las principales opciones barajadas es la utilización de frenos de zapatas sobre la llanta de las ruedas, los posibles puntos de colocación del sistema de frenado son los que aparecen redondeados en rojo en la figura 5.46.

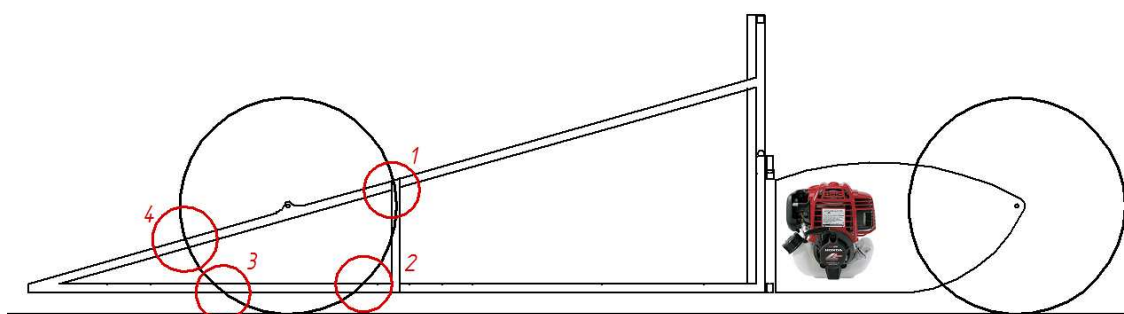


Figura 5.46 Puntos para la colocación del sistema de frenado

Vistos los resultados de los análisis de las tensiones del bastidor en la prueba *Marcha*, las zonas idóneas para la colocación del sistema de frenado son las zonas 1 y 2 de la figura 5.46, ya que, además de ser unas de las zonas con mayores niveles tensionales, el sentido de las fuerzas que llegan a ellas es hacia abajo, por lo que la reacción de la fuerza de frenado, que es hacia arriba, será beneficiosa.

5.6.3.- Cinturón de seguridad

Otro de los elementos que puede llegar a producir grandes tensiones sobre el bastidor es el cinturones de seguridad.

Aunque en las pruebas que realiza la organización a los prototipos, solamente se exige una carga de 1,5 veces el peso el piloto sobre el cinturón de seguridad, en caso de accidente, dicha fuerza puede llegar a ser mucho mayor. Por ello sólo cabe indicar los

puntos con mayor resistencia de la estructura para que, en caso de accidente, la fuerza que pueda soportar la estructura sea la máxima, dentro de sus capacidades.

En la figura 5.47 se indican, redondeadas en rojo, las zonas recomendadas para la ubicación de los puntos de anclaje del cinturón de seguridad.

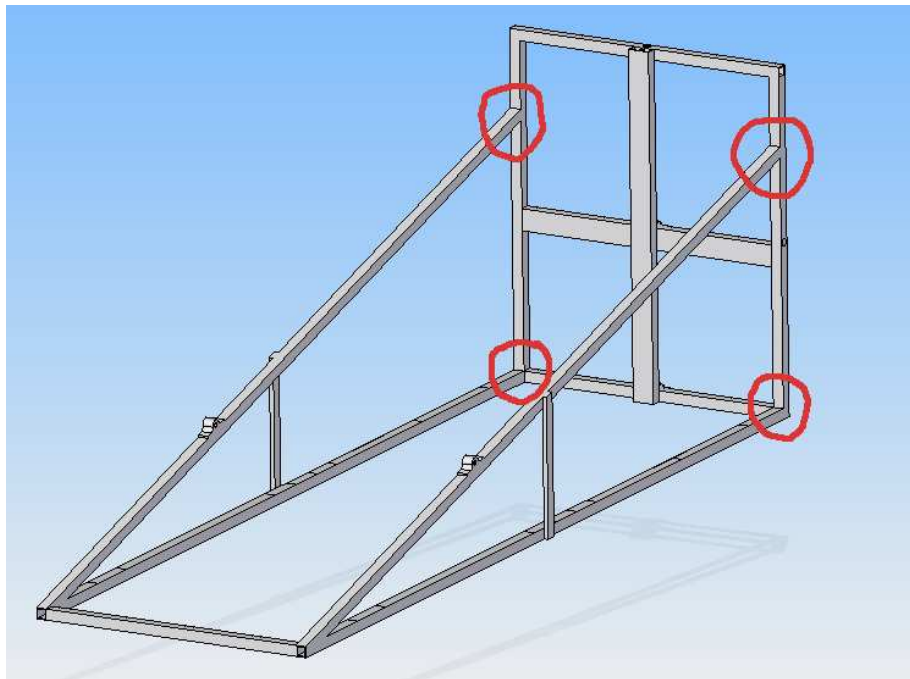


Figura 5.47 Puntos para la colocación de los cinturones de seguridad

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1.- Conclusiones

El objetivo de este proyecto ha sido diseñar el bastidor delantero del vehículo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon. Por ello, se ha perseguido crear un bastidor conforme a las necesidades del prototipo en cuestión.

A lo largo del presente proyecto, se han realizado las verificaciones oportunas al objeto de poder afirmar, una vez finalizado el mismo, que el bastidor diseñado es el óptimo, a la vista de los objetivos planteados.

A la referida conclusión se llega tras realizar un análisis sobre determinados aspectos del bastidor, mediante el cual, se puede juzgar la calidad del diseño. Dichos aspectos son:

- El espacio dispuesto para el piloto le facilita una conducción cómoda. Requisito indispensable para evitar una fatiga excesiva durante la competición.

- Se ha tenido en cuenta en todo momento la seguridad del piloto, proporcionando a la estructura la fiabilidad necesaria. Asimismo, se ha enfocado el diseño de la estructura para reducir los daños al conductor en caso de accidente.
- Se ha conseguido optimizar la estructura del prototipo, creando un bastidor delantero que, en condiciones de trabajo normal cuenta con un factor de seguridad mayor que 4, y con un peso muy limitado, ya que la estructura tiene una masa menor de 5 kg. A la vez se ha propiciado, con el diseño planteado, la obtención de la mínima área frontal.

6.2.- Trabajos futuros

Para el desarrollo de futuros bastidores, se propone el estudio de los aspectos que se detallan a continuación:

- Realización de un análisis pormenorizado del comportamiento real de los sistemas que constituyen el prototipo en su relación con el bastidor. Ello permitiría la mejora de diseño del conjunto, a través de una valoración más precisa de por ejemplo, los anclajes de los elementos montados.
- Mejora de la postura de conducción en base a la información recogida de la experiencia de los pilotos en la competición.
- Estudio conjunto y coordinado de las partes delantera y trasera del bastidor a fin de mejorar el comportamiento de la zona de unión entre ambas partes.

- Análisis minucioso de las diversas masas que afectan al bastidor. Esto permitiría una mayor precisión en los cálculos, pudiendo así reducir aún más la masa del prototipo.
- Estudio del empleo de otros materiales, así como de diferentes elementos estructurales, tales como cables, mallas, etc...

REFERENCIAS

[1] Shell Eco-Marathon [en línea]. Disponible en web: <<http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/>> [Consulta: 22 agosto 2010]

[2] José Antonio Bueno Oliveros. EL SECTOR DEL AUTOMOVIL EN LA ESPAÑA DE 2010 Disponible en web: <<http://www.navarrainnova.com/es/clusters/automocion/documentacion/estudios-e-informes/1843.php>> [Consulta: 4 septiembre 2010]

[3] Competición Shell Eco-Marathon. Disponible en web: <<http://www.elmundo.es/elmundomotor/2010/05/07/conductores/1273226229.html>> [Consulta: 24 agosto 2010]

[4] Shell Eco-Marathon Rules [en línea]. Disponible en web: <<http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/about/rules/>> [Consulta: 24 agosto 2010]

[5] Samba speed team [en línea]. Disponible en web: <<http://www.samba-speed-team.de/Aktuelles/Team2009/tabid/216/Default.aspx>> [Consulta: 24 agosto 2010]

- [6] National University of Singapore [en línea]. Disponible en web: <<http://blog.nus.edu.sg/nusid/2009/04/27/design-incubation-centre-launched-latest-eco-friendly-urban-concept-car/>> [Consulta: 24 agosto 2010]
- [7] EuroSpeedway Lausitz [en línea]. Disponible en web: <<http://www.eurospeedway.de/>> [Consulta: 24 agosto 2010]
- [8] EuroSpeedway event [en línea]. Disponible en web: <<http://www.aviationnews.eu/2010/01/17/red-bull-air-race-returns-to-germany-with-race-at-eurospeedway-lausitz/eurospeedway/>> [Consulta: 24 agosto 2010]
- [9] Online Racing Academy [en línea]. Disponible en web: <<http://onlineracingacademy.com/?p=119>> [Consulta: 24 agosto 2010]
- [10] Antonio Ocaña Ocaña. TRATADO DEL AUTOMÓVIL. Dossat 2000
- [11] Apuntes cátedra: Vehículos automotores U.N.M.d.P. Disponible en web: <<http://pato2.fi.mdp.edu.ar/maq-term1/maq3/Bastidores.pdf>> [Consulta: 6 agosto 2010]
- [12] EL AUTOMOVIL. Disponible en web: <<http://www.logisnet.com/compras/upload/ManMecC.pdf>> [Consulta: 6 agosto 2010]
- [13] Herb Adams. CHASSIS ENGINEERING. HP Books
- [14] Lycee la joliverie [en línea]. Disponible en web: <<http://la-joliverie.com/index.php?id=91>> [Consulta: 15 julio 2010]
- [15] PAC-Car II website [en línea]. Disponible en web: <<http://www.paccar.ethz.ch/>> [Consulta: 15 julio 2010]
- [16] Casco Hernández, Adrián. Director PFC: Dr. D. Vicente Díaz López. Tutora PFC Dra. D^a. Beatriz López Boada. ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA COMPETICIÓN ECO-MARATHON SHELL. Universidad Carlos III de Madrid. 2008.

[17] Área de Ingeniería Mecánica. BIOMECÁNICA, GUIÓN DE LA PRÁCTICA 1: ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO. CURSO 2009-2010. 3º INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA. Universidad Carlos III de Madrid.

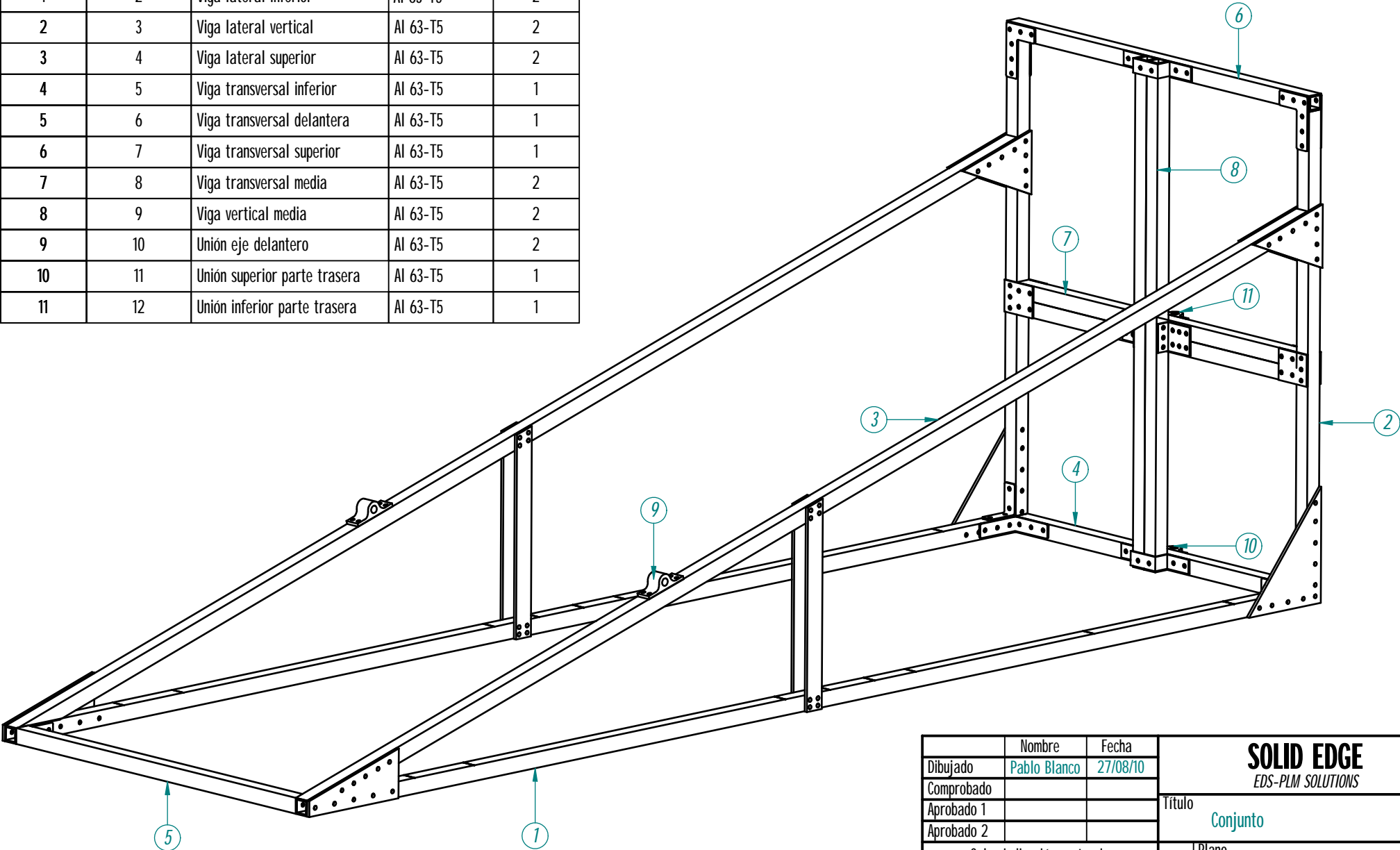
[18] Geoff Davies. MATERIALS FOR AUTOMOBILE BODIES. Eselvier 2003.

[19] Alu-Stock S. A. Capítulo 11. Aleaciones de aluminio. Alu-Stock S. A. Disponible en web: < <http://www.alu-stock.es/> > [Consulta: 8 julio 2010]

ANEXO I

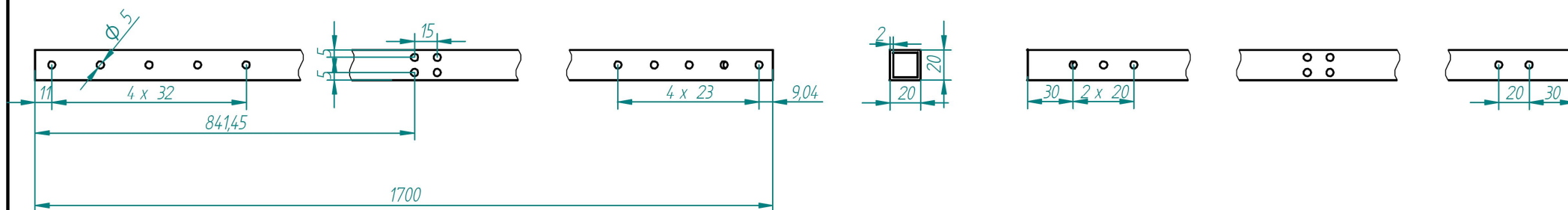
Número de elemento	Número de Documento	Título	Material	Cantidad
1	2	Viga lateral inferior	Al 63-T5	2
2	3	Viga lateral vertical	Al 63-T5	2
3	4	Viga lateral superior	Al 63-T5	2
4	5	Viga transversal inferior	Al 63-T5	1
5	6	Viga transversal delantera	Al 63-T5	1
6	7	Viga transversal superior	Al 63-T5	1
7	8	Viga transversal media	Al 63-T5	2
8	9	Viga vertical media	Al 63-T5	2
9	10	Unión eje delantero	Al 63-T5	2
10	11	Unión superior parte trasera	Al 63-T5	1
11	12	Unión inferior parte trasera	Al 63-T5	1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



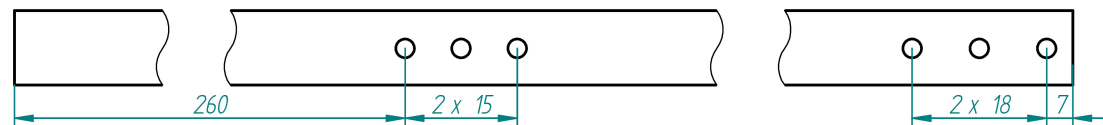
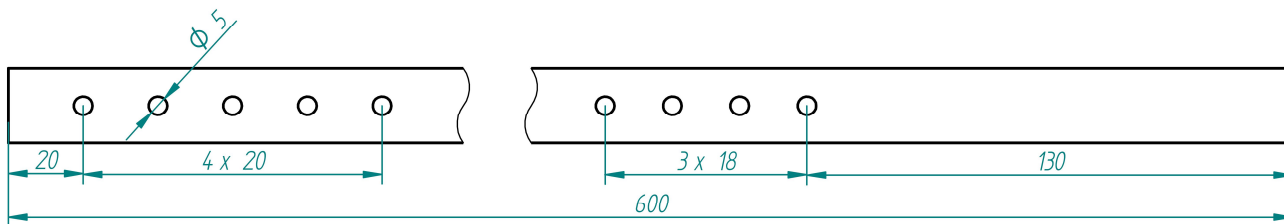
	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco	27/08/10		
Comprobado			Título Conjunto	
Aprobado 1				
Aprobado 2			A3 Plano	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			Archivo: Conjunto.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 1 de 12	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



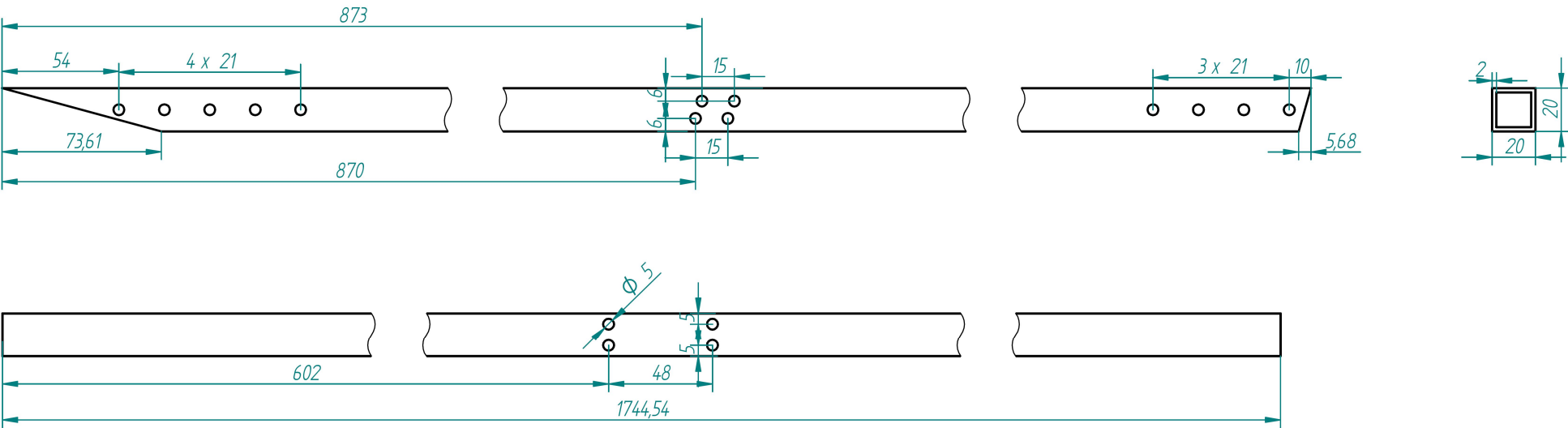
	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco	21/09/10		
Comprobado			Título Pieza 1	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º			A3	Plano
			Archivo: Pieza1.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 2 de 12	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



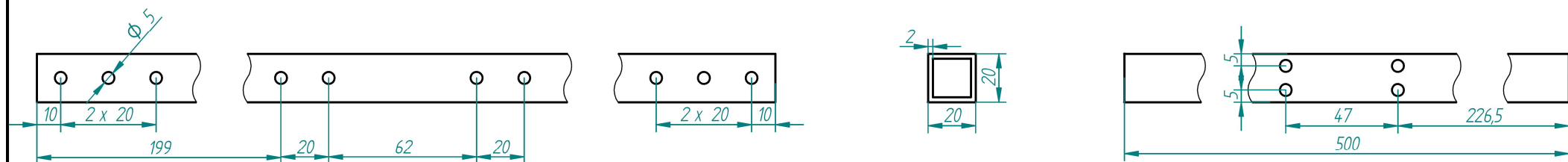
	Nombre	Fecha	<div>SOLID EDGE</div> <div>EDS-PLM SOLUTIONS</div>		
Dibujado	Pablo Blanco	22/09/10			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Título		
			Pieza 2		
			A3	Plano	Rev
			Archivo: Plano1		
			Escala	Peso	Hoja 3 de 12

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



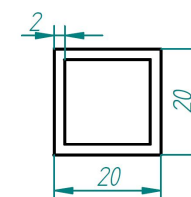
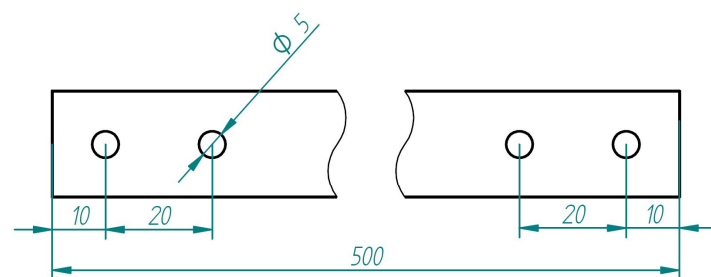
	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco	22/09/10		
Comprobado			Título Pieza 3	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano
			Archivo: Pieza3.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 4 de 12	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



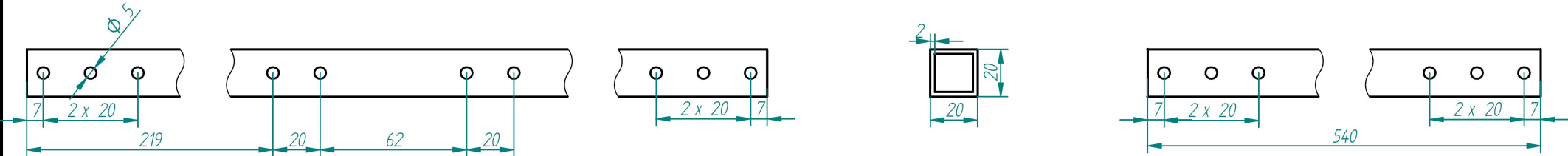
	Nombre	Fecha	<div>SOLID EDGE</div> <div>EDS-PLM SOLUTIONS</div>		
Dibujado	Pablo Blanco	22/09/10			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Título		
			Pieza 4		
			A3	Plano	Rev
			Archivo: Pieza4.dft		
			Escala	Peso	Hoja 5 de 12

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



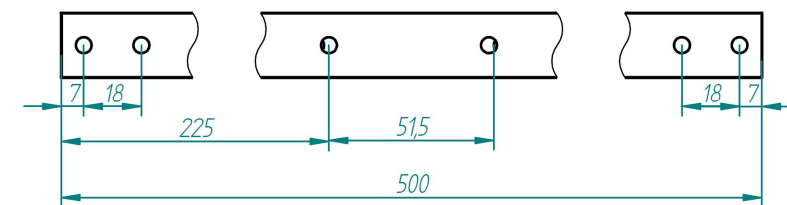
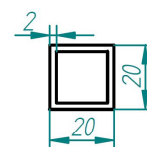
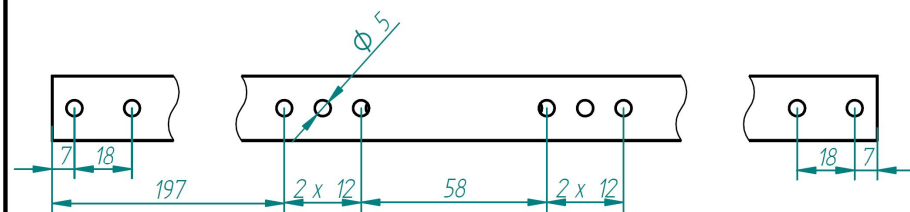
	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco	22/09/10		
Comprobado			Título Pieza 5	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A3	Plano
			Archivo: Pieza5.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 6 de 12	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



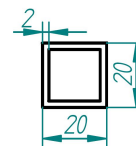
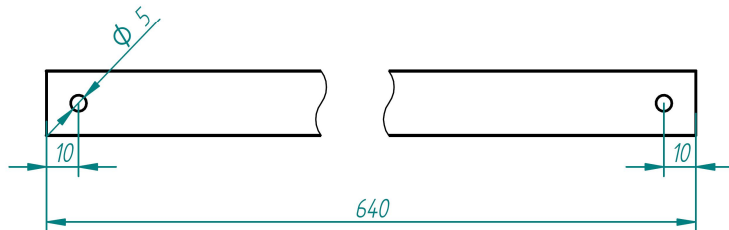
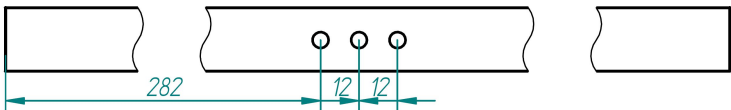
	Nombre	Fecha	<div>SOLID EDGE</div> <div>EDS-PLM SOLUTIONS</div>	
Dibujado	Pablo Blanco	22/09/10		
Comprobado			Título Pieza 6	
Aprobado 1				
Aprobado 2			A3PlanoRev	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: Pieza6.dft	
			Escala	PesoHoja 7 de 12

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



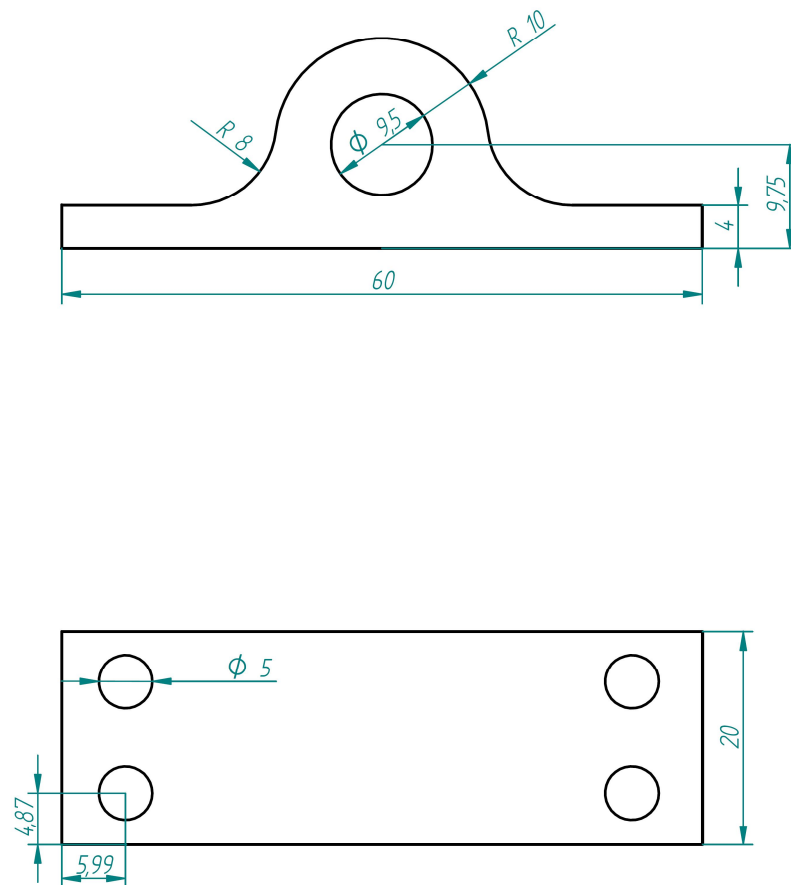
Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco		
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2		Título Pieza 7	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3	Plano
		Archivo: Pieza7.dft	
		Escala	Peso
		Hoja 8 de 12	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



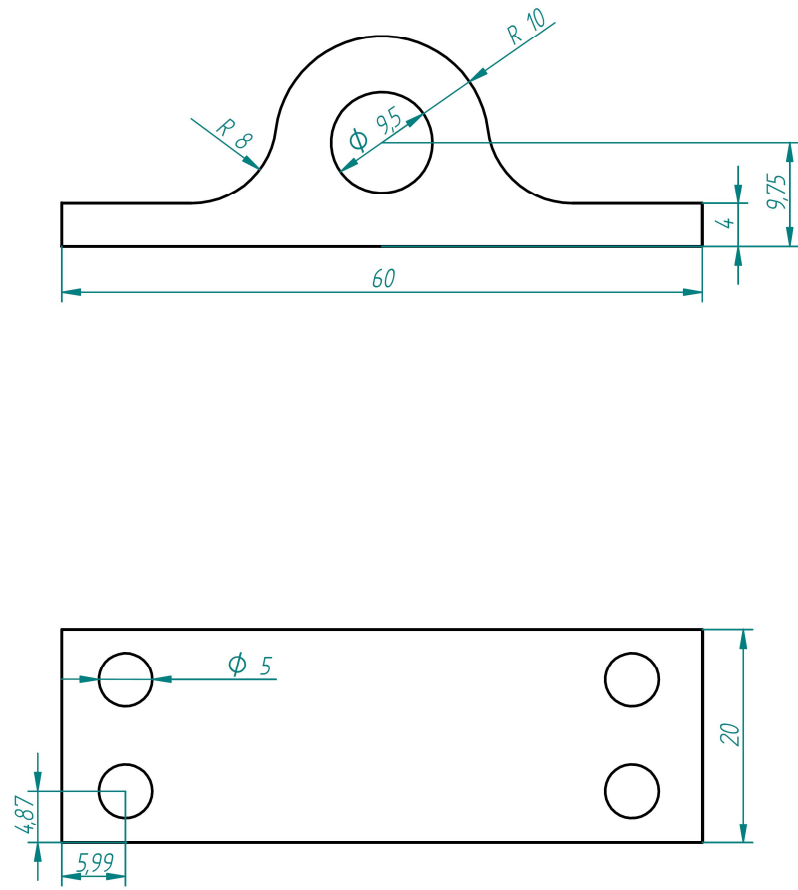
	Nombre	Fecha	<div>SOLID EDGE</div> <div>EDS-PLM SOLUTIONS</div>		
Dibujado	Pablo Blanco	23/09/10			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2			Título		
			Pieza 8		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano	Rev
			Archivo: Pieza8.dft		
			Escala	Peso	Hoja 9 de 12

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



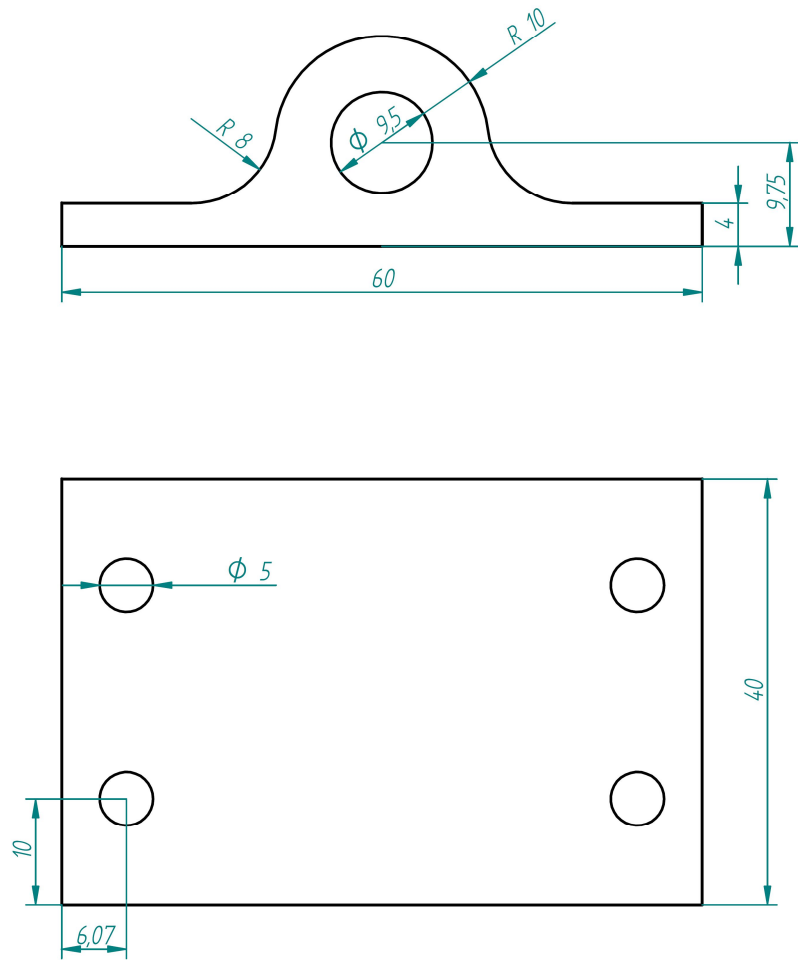
	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco	23/09/10		
Comprobado			Título Pieza 9	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano
			Archivo: Pieza9.dft	
			Escala	Peso
			Hojas 10 de 12	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	<div>SOLID EDGE</div> <div>EDS-PLM SOLUTIONS</div>		
Dibujado	Pablo Blanco	23/09/10			
Comprobado			<div>Título</div> <div>Pieza 10</div>		
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano	Rev
			Archivo: Pieza10.dft		
			Escala	Peso	Hoja 11 de 12

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujado	Pablo Blanco	23/09/10		
Comprobado			Título Pieza 11	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano
			Archivo: Pieza11.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 12 de 12	

